

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Filip Flego

Zagreb, 2014.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Jerolim Andrić, dipl. ing.

Student:

Filip Flego

Zagreb, 2014.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvalio bih se prvenstveno kolegi Nevenu Hadžiću bez kojeg ovaj rad ne bi bio moguć te čiju sam pomoć i savjete često koristio, ponekad i izvan izrade diplomskog rada. Zahvaljujem se i docentu Jerolimu Andriću na mentorstvu te vodstvu tijekom studija.

Nadalje, zahvalio bih se profesoru Ivanu Juragi i njegovom asistentu kolegi Ivanu Stojanoviću, te profesoru Ivici Garašiću na vremenu koje su mi posvetili te njihovom stručnom doprinosu u izradi rada.

Hvala i roditeljima na strpljenju tijekom studiranja. Posebno hvala tebi R.

Filip Flego



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomске ispite
Povjerenstvo za završne i diplomске ispite studija brodogradnje



Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Filip Flego** Mat. br.: 0035172200

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **TEHNOLOŠKI POSTUPCI GRADNJE ČELIČNIH MARIKULTURNIH OBJEKATA**
Naslov rada na engleskom jeziku: **PRODUCTION TECHNOLOGY FOR STEEL MARICULTURE OBJECTS**

Opis zadatka:

Na temelju predloženog rješenja plutajuće čelične konstrukcije s pomičnim kavezima za uzgoj ribe na pučini dimenzije (Loa = 168 m, B = 16 m, H = 35 m) potrebno je definirati tehnološke postupke obrade materijala i gradnje kaveza od ulaznog skladišta crne metalurgije do predaje objekta moru. U okviru diplomskog zadatka potrebo je:

1. Analizirati dostupnu literaturu, definirati pojam marikulture te identificirati ključne čimbenike funkcionalnosti pučinskih marikulturnih objekata.
2. Analizirati i prikazati tipove postojećih konstrukcijskih rješenja marikulturnih objekata te opisati i prikazati predloženo rješenje plutajuće čelične konstrukcije s pomičnim kavezima za uzgoj ribe na otvorenom moru.
3. Razraditi i definirati postupke obrade, zavarivanja, antikorozivne zaštite i predmontaže konstrukcijskih elemenata.
4. Predložiti prikladan građevno mjesto te razraditi i definirati postupke montaže trupa.
5. Definirati i opisati prikladan postupak predaje objekta moru u skladu s izabranim mjestom gradnje trupa.

Zadatak zadan:

25. rujna 2014.

Rok predaje rada:

27. studenog 2014.

Predviđeni datumi obrane:

3., 4. i 5. prosinca 2014.

Zadatak zdao:

Doc. dr. sc. Jerolim Andrić

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Nastja Degiuli

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS TABLICA.....	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD.....	1
2. PREGLED MARIKULTURE	2
2.1. Općenito	2
2.2. Trendovi i trenutno stanje	4
2.2.1. Stanje marikulture u svijetu i EU	6
2.2.2. Stanje marikulture u Hrvatskoj	9
3. PREGLED KONSTRUKCIJSKIH RJEŠENJA MARIKULTURNIH OBJEKATA	11
3.1. Općenito	11
3.2. Kavezni sustavi	12
3.2.1. Gravitacijski kavez.....	12
3.2.2. Usidreni kavez	13
3.2.3. Polukruti kavez	14
3.2.4. Kruti kavezi.....	14
3.2.5. Kavez usidren pritegnutim priponama.....	15
3.3. Ostali sustavi	16
3.3.1. Ograđeni sustav (Enclosure system).....	16
3.3.2. Neprivezani kavez (Untethered cages)	16
3.3.3. Poluuronjive strukture (Semi-submerged structure).....	16
3.4. Osnovne smjernice za projektiranje objekta za marikulturu (Norwegian Standard) .	18
4. OPIS PREDLOŽENOG RJEŠENJA ZA PUČINSKU MARIKULTURU	19
5. TEHNOLOŠKI POSTUPCI PROIZVODNJE ČELIČNIH CIJEVI	21
5.1. Općenito	21
5.2. Uzdužno zavarene cijevi	21
5.3. Spiralno zavarene cijevi	23
5.3.1. Integrirano oblikovanje spiralnih cijevi	25
5.3.2. Odvojeno oblikovanje spiralnih cijevi	26

5.4. Proizvođači čeličnih cijevi velikih promjera	27
5.4.1. ArcelorMittal Projects.....	28
5.4.2. TMK Group	30
5.4.3. TPS Technitube.....	33
5.5. Standardi čeličnih cijevi velikih promjera	35
5.5.1. API 5L - American Petroleum Institute	35
5.5.2. EN 10219-1 - European Committee of Standards	35
5.5.3. ISO 3138 - International Organization of Standards	35
6. PRIJEVOZ, REZANJE I ZAVARIVANJE ČELIČNIH CIJEVI	36
6.1. Prijevoz cijevi iz odabrane čeličane u brodogradilište.....	37
6.2. Rezanje čeličnih cijevi	40
6.3. Postupci zavarivanja čeličnih cijevi.....	42
6.3.1. REL zavarivanje celuloznom elektrodom.....	43
6.3.2. MAG zavarivanje.....	44
6.3.3. FCAW zavarivanje praškom punjenom žicom	45
6.3.4. Automatsko i poluautomatsko zavarivanje	46
7. PROCES GRADNJE KAVEZA ZA PUČINSKU MARIKULTURU.....	50
7.1. Brodograđevni proizvodni proces	50
7.2. Proizvodni proces kaveza za pučinsku marikulturu.....	52
7.2.1. Skladištenje cijevi u brodogradilištu.....	53
7.2.2. Predmontaža spojeva	53
7.3. Montaža i predaja moru	54
7.3.1. Građevno mjesto	54
7.3.2. Montiranje i prijenos modula na plutajući dok	55
7.3.3. Predaja kaveza za pučinsku marikulturu moru	58
7.3.4. Alternativna rješenja predaje moru	59
8. ZAKLJUČAK.....	62
9. LITERATURA	63

POPIS SLIKA

Slika 1.	Trendovi marikulture proizvodnje	2
Slika 2.	Usporedba proizvodnje ulovnog ribarstva i akvakulture	3
Slika 3.	Intenzitet marikulture proizvodnje po državama između 2004. i 2008.	7
Slika 4.	Uzgajališta u uvali Budava u Istri	9
Slika 5.	Stanje marikulture u Hrvatskoj 2012.	10
Slika 6.	Uronjeni kruti kavez i jednoobodna konstrukcija	12
Slika 7.	Gravitacijski kavezni sustav	13
Slika 8.	Heksagonalni usidreni kavezni sustav	13
Slika 9.	Polukruti kavez na otvorenom moru	14
Slika 10.	Kuglasti kruti uronjeni ili površinski kavez i klasični čelični plutajući kavez ...	15
Slika 11.	Kavez usidren pritegnutim priponama	15
Slika 12.	Neprivezani plutajući kavez	16
Slika 13.	Poluuronjivi brod za uzgoj ribe	17
Slika 14.	Poluuronjiva platforma za uzgoj ribe	17
Slika 15.	Dimenzije kaveza za pučinsku marikulturu	20
Slika 16.	Predloženo rješenje kaveza za pučinsku marikulturu	21
Slika 17.	Savijanje uzdužnih rubova lima	23
Slika 18.	Oblikovanje u obliku slova „U“	23
Slika 19.	Oblikovanje u obliku slova „O“	24
Slika 20.	Proizvodnja spiralnih cijevi	25
Slika 21.	Unutarnje i vanjsko zavarivanje spiralnih cijevi pod praškom	26
Slika 22.	Trovaljčano savijanje cijevi unutarnjem i vanjskim valjčastim kavezom.....	26
Slika 23.	Geografski smještaj tvrtke ArcelorMittal	38
Slika 24.	Brod za prijevoz općeg tereta	39
Slika 25.	Smještaj cijevi u teretnom prostoru broda	40
Slika 26.	Prikaz užetom zavezanih cijevi i dizaličnog iskrcaja	40
Slika 27.	Ručno (lijevo) i automatsko (desno) rezanje smjesom acetilena i kisika	42

Slika 28.	Predgrijavanje čeličnih cijevi prije zavarivanja	44
Slika 29.	REL zavarivanje čeličnih cijevi celuloznom elektrodom	45
Slika 30.	Ručno MAG zavarivanje čeličnih cijevi	46
Slika 31.	Poluautomatsko FCAW zavarivanje čeličnih cijevi	47
Slika 32.	Glava za automatsko zavarivanje čeličnih cijevi	48
Slika 33.	Usporedba učina taljenja raznih tehnika zavarivanja cijevi	48
Slika 34.	Prikaz „V“ pripreme spoja i fiksiranja cijevi	49
Slika 35.	Shema brodograđevnog proizvodnog procesa	52
Slika 36.	Shema proizvodnog procesa pučinskog marikulturnog kaveza	53
Slika 37.	Predmontirani LL-spoj (lijevo) i TT-spoj (desno)	55
Slika 38.	Modul kavezne konstrukcije	57
Slika 39.	Primjer potklada na kojima se smješta sekcija brodskog trupa	57
Slika 40.	Prijenos pučinskog objekta parternim transporterima	58
Slika 41.	Potapanje plovnog doka	59
Slika 42.	Porinuće pučinskog objekta s barže	61
Slika 43.	Podvodno zavarivanje cijevnih elemenata u mokrim i suhim uvjetima	62

POPIS TABLICA

Tablica 1.	Svjetska proizvodnja i potrošnja ribe	5
Tablica 2.	Potencijal pučinske marikulture pojedinih država u svijetu.....	8
Tablica 3.	Tehnička izvedivost i isplativost površine za razvoj marikulture	8
Tablica 4.	Dimenzijski parametri cijevnih elemenata proizvođača ArcelorMittal	29
Tablica 5.	Mehanička svojstva materijala cijevi proizvođača ArcelorMittal.....	30
Tablica 6.	Standardi AKZ-a cijevnih elemenata proizvođača ArcelorMittal.....	31
Tablica 7.	Tolerancije cijevnih elemenata proizvođača ArcelorMittal	31
Tablica 8.	Dimenzijski parametri uzdužno zavarenih cijevi proizvođača TMK Group ...	31
Tablica 9.	Dimenzijski parametri spiralno zavarenih cijevi proizvođača TMK Group	32
Tablica 10.	Mehanička svojstva materijala cijevi proizvođača TMK Group	33
Tablica 11.	Standardi AKZ-a cijevnih elemenata proizvođača TMK Group.....	33
Tablica 12.	Dimenzijski parametri cijevi proizvođača TPS Technitube.....	34
Tablica 13.	Nastavak dimenzijskih parametara cijevi proizvođača TPS Technitube	35
Tablica 14.	Mehanička svojstva materijala cijevi proizvođača TPS Technitube.....	36
Tablica 15.	Kemijski sastav odabranih čelika	37
Tablica 16.	Relevantnih parametara naručenih cijevi od čelika X52 duljine 10 metara.....	38

SAŽETAK

Svrha ovog diplomskog rada je razmotriti tehnološke postupke gradnje pučinskog marikulturnog objekta. Rad se sastoji od nekoliko cjelina, koncipiranih na sljedeći način:

Prvi dio rada se bavi marikulturom općenito, kako u svijetu, tako i u Hrvatskoj. Detaljno se opisuje što se pod marikulturu podrazumijeva i po čemu se razlikuje od slatkovodne akvakulture, te su u vezi toga dani neki relevantni statistički podaci. Iduća cjelina se tiče konstrukcijskih rješenja postojećih marikulturnih objekata koji su danas u primjeni i onih koji su još u idejnoj fazi projekta. Tu je uključen i opis predloženog rješenja u obliku čelične kavezne konstrukcije koja se sastoji isključivo od čeličnih cijevnih elemenata velikih promjera. Iduća cjelina se fokusira na tehnološke postupke proizvodnje čeličnih cijevnih elemenata velikih promjera od kojih bi se objekt izgradio. Navedeno je nekoliko proizvođača spomenutih čeličnih cijevi s detaljnim prikazom njihovih proizvoda, od dimenzija cijevi do antikorozivne zaštite koju nude. U posljednjoj i najopsežnijoj cjelini navode se značajke tehnoloških postupaka gradnje kaveznog pučinskog objekta i uspoređuje brodograđevni proizvodni proces s proizvodnim procesom dotičnog objekta. Opisuju se tehnološki postupci rezanja i zavarivanja cijevi u čeličani te njihov prijevoz do brodogradilišta u Hrvatskoj te se detaljno prikazuju postupci predmontaže i montaže cijevnih elemenata kao i predaja pučinskog objekta moru.

Ključne riječi:

Pučinska marikultura, akvakultura, kavezna konstrukcija, čelične cijevi velikih promjera, proizvodni proces, montaža, predaja moru

SUMMARY

The purpose of this thesis is to consider the technological procedures involved in constructing an offshore maricultural facility. It consists of several parts conceived in the following manner:

The first focuses on mariculture in general, including its current state in the world and specifically in Croatia, provided with detailed descriptions and relevant data. The next part of the thesis deals with current structural solutions for maricultural facilities, as well as some future designs. This includes a description of the proposed structure of a maricultural facility involving circular piping in the shape of a cage. Next, the thesis focuses on the technological procedures used in the manufacturing of large diameter steel piping used for such a facility. Also there is a list of potential manufacturers for such piping with a detailed description of their products, including pipe dimensions, anti corrosive coating etc. The final part of the thesis is the most extensive and deals with the complete technological procedures involved in the construction of such a large maricultural facility, including welding, cutting, transportation etc. Also there is a detailed description of the preassembly and assembly of the proposed facility, and finally its launching as well.

Key words:

Offshore mariculture, aquaculture, cage construction, large diameter steel pipe, manufacturing process, assembly, launching

1. UVOD

Opskrba energijom i dostatnom količinom hrane svjetskom stanovništvu predstavlja presudan problem 21. stoljeća te je potrebno što više resursa usmjeriti u njihovo uspješno i učinkovito rješavanje. Smatra se kako se među izglednijim rješenjima tih problema nalazi u potencijalu morske pučine, kako za obnovljive izvore energije, tako i za uzgoj morskih organizama u velikim količinama.

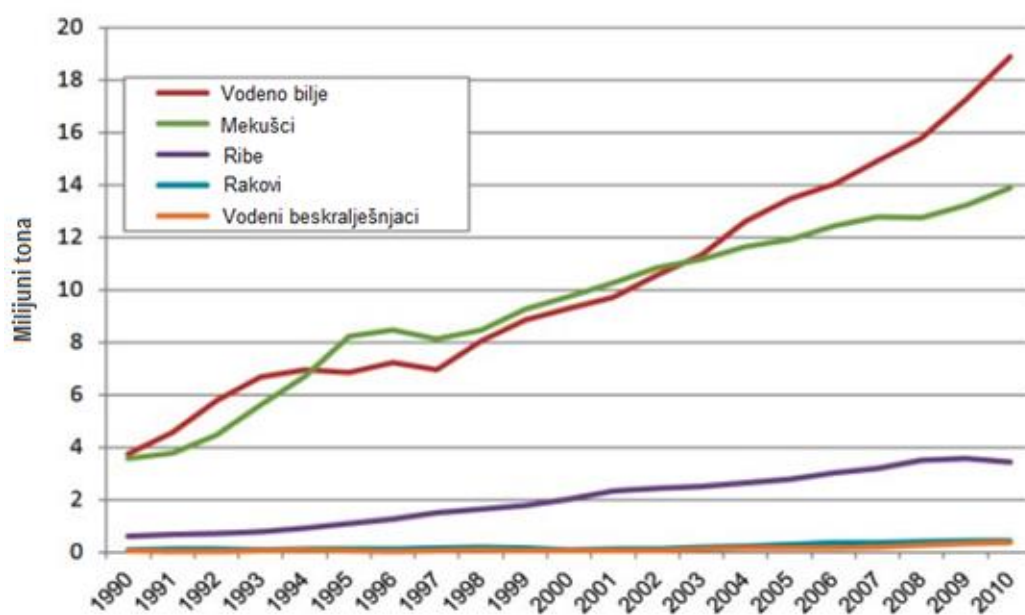
Akvakultura je pojam koji obuhvaća uzgajanje organizama u slatkoj ili morskoj vodi, dok je marikultura uži pojam koji podrazumijeva uzgajanje organizama isključivo u morskoj vodi. Manji dio novonastale potrebe opskrbe hranom može se ostvariti slatkovodnom akvakulturom radi toga što porastom svjetskog stanovništva slatka voda postaje sve važniji i vrijedniji resurs. To znači da će uzgoj u slatkoj vodi biti sve ograničeniji, a u morskoj vodi sve nužniji. Međutim, priobalna marikultura ne može ni približno osigurati dovoljnu količinu proizvodnje hrane radi ograničenosti dostupnog prostora na kojima se mogu graditi uzgajališta, stoga se kao najizglednije i neizbježno rješenje javlja upravo pučinska marikultura. Prema postojećim predviđanjima, svjetska potrošnja ribe će 2030. godine narasti za 40% u odnosu na 2010., dok je ulovno ribarstvo već sada u fazi stagnacije. Uslijed konstantnog porasta svjetskog stanovništva lako se može zaključiti da će povećanje i dodatno razvijanje marikulture proizvodnje biti od presudne važnosti kako bi se zadovoljila svjetska potražnja. Imajući to na umu, nužno je uložiti u daljnja istraživanja i razvoj kako bi se ostvario potreban tehnološki napredak za gradnju pučinskih marikulturnih objekata s ciljem postizanja ekonomske i ekološke održivosti.

Ovaj diplomski rad predstavlja doprinos razvoju marikulture za potrebe domaće i svjetske prehrambene industrije te se predlaže uzgoj ribe na pučini u velikoj čeličnoj kaveznoj konstrukciji. Takav se koncept podudara s načelom ekonomičnosti razmjera - proizvodnja hrane (u ovom slučaju riba) u što većim količinama kako bi se ukupni troškovi proizvodnje smanjili uslijed povećanog razmjera proizvodnje.

2. PREGLED MARIKULTURE

2.1. Općenito

Akvakultura podrazumijeva uzgoj ribe ili drugih vodenih organizama (mekušci, rakovi, vodeno bilje itd.), sa svrhom unaprijeđenja proizvodnje uz neku vrstu intervencije u proces rasta poput umjetnog mriještenja, hranjenja, zaštite i sl. Danas se u sklopu akvakulture uzgaja preko 550 različitih vodenih organizama, pri čemu vodeću ulogu imaju različite vrste riba i školjaka. Akvakultura se može klasificirati na više načina. Najznačajnije su klasifikacije obzirom na salinitet (akvakultura u slanoj, boćatoj ili slatkoj vodi), temperaturu vode (hladna, umjerena ili topla), metode ishrane (široka, polu-intenzivna, ili intenzivna) te s obzirom na mriještenje (otvoreni ili zatvoreni ciklus). Otvoreni ciklus podrazumijeva smještaj ribe u kaveze nakon prirodnog mriještenja na otvorenom moru, dok se kod zatvorenog dobavljaju nove generacije riba iz umjetnih mrijestilišta. Slika 1 prikazuje trend razvoja pojedinih segmenata marikulture proizvodnje, od kojih najveći rast u razdoblju od 1990. do 2010. bilježe vodene biljke, mekušci i ribe [1].



Slika 1. Trendovi marikulture proizvodnje [1]

Akvakultura je brzo rastuća industrija proizvodnje hrane koja trenutno opskrbljuje skoro 50% svjetske proizvodnje ribe i potencijalno može zadovoljiti sve veću potražnju morskih i slatkovodnih prehrambenih proizvoda.

Akvakultura u moru naziva se marikultura te pretpostavlja provođenje svih aktivnosti vezanih uz akvakulturu pod utjecajem valova i morskih struja. Smatra se da su prvi oblici marikulture nastali prije najmanje 3000 godina iako je tada, kao i danas, najvažniji oblik dobivanja hrane bila agrikultura. Međutim, za razliku od agrikulture, marikultura je do nedavno relativno malo doprinosila svjetskoj proizvodnji hrane. Umjesto razvoja kultivacije i uzgoja prisutne kod poljoprivrede, došlo je do razvoja lovačko sakupljačkih metoda unapređivanjem tehnologije praćenja i ubijanja riba. Od kraja Drugog svjetskog rata, svjetska potražnja za ribama kao izvor hrane kod ljudi i kod drugih morskih životinja je u konstantnom porastu [2]. Značajni porast svjetske akvakulturne proizvodnje i duža stagnacija ulovnog ribarstva posljednjih godina prikazuje Slika 2.



Slika 2. Usporedba proizvodnje ulovnog ribarstva i akvakulture [1]

Pojam pučinske marikultura se različito shvaća među narodima i interesnim skupinama, iako je jasno da se odnosi na uzgoj ribe na otvorenom moru pod utjecajem morskih valova i struja. Ipak, značajna raznolikost obalnih voda otežava definiranje „tipičnih“ uvjeta i nije jednostavno razlikovati uzgojno područje koje je „izvan obale“.

Aktivnost marikulture se na temelju lokacije svrstava u tri kategorije: obalna, priobalna i pučinska, te se dodatno opisuje prema općim kriterijima koje se odnose na udaljenost od obale, dubinu vode, stupanj izloženosti valovima i morskoj struji, pristupu i operativnim zahtjevima farme. Međutim, čak i ti kriteriji daju samo površnu ideju o izvedivosti; stvarne lokacije, s pripadnim okolišnim uvjetima, se nužno razmatraju pojedinačno. Prema dogovorenim

kriterijima, marikultura se smatra „pučinskom“ ako je lokacija farme smještena više od 2 km od obale ili izvan njenog vidokruga, u moru dubine veće od 50 m, s valnim visinama od 2 m ili više, s promjenjivim vjetrom i jakim strujama [2].

Pučinska marikultura predstavlja značajan potencijal za povećanje proizvodnje hrane u svijetu na ekološki održiv način. Njegov razvoj je izrazito važan za održivu dobavu hrane u svijetu, pružanje alternative ulovnom ribarstvu i poticanje gospodarskog razvoja, posebice u obalnim dijelovima svijeta. No, ostvarenje tog potencijala zahtijeva, između ostalog, suradnju vlada i razvojnih agencija s *offshore* industrijom akvakulture kako bi zajednički razvili politički i regulatorni okvir i kojim bi se omogućilo razvijanje pučinske marikulture na ekološki održiv način.

2.2. Trendovi i trenutno stanje

Većina svjetske marikulture proizvodnje se odvija u obalnim, najčešće zaklonjenim područjima karakteristični po niskoj hidrodinamičnoj energiji i plitkim vodama u neposrednoj blizini obalne infrastrukture. Širenje marikulture na izložena mjesta izvan obale predstavlja veliki izazov s tehnološke, okolišne i prostorne perspektive, kao i zakonskog aspekta. Općenito, porastom udaljenosti marikulture djelatnosti na pučini, dubine mora i razine izloženosti vremenskim neprilikama, raste i razina tehnološke kompleksnosti, što podrazumijeva veće kapitalne investicije [4].

Obzirom na očekivano globalno povećanje broja stanovnika u idućih nekoliko desetljeća, procjenjuje se će najmanje 40 milijuna tona dodatne morske hrane biti potrebno do 2030. godine za potrebe prehrane svjetske populacije [1]. Nadalje, aktivnost koja je isprva bila fokusirana na slatkovodnoj proizvodnji, danas obuhvaća mnoštvo novih vodenih vrsta. Trenutno stanje dostupnosti prirodnih resursa, zaštite okoliša i porasta stanovništva, kao i napretka u morskoj i biotehnologiji, donosi sa sobom veliki potencijal ali i kompleksne i zahtjevne promjene u razvoju marikulture. Tablica 1 prikazuje podatke svjetske proizvodnje akvakulture na obali i pučini od 2006. do 2011. godine.

Tablica 1. Svjetska proizvodnja i potrošnja ribe [4]

	2006.	2007.	2008.	2009.	2010.	2011.
Proizvodnja [milijuni tona]						
ULOV						
<i>Slatka voda</i>	9,8	10,0	10,2	10,4	11,2	11,5
<i>More</i>	80,2	80,4	79,5	79,2	77,4	78,9
<i>Ukupno</i>	90,0	90,3	89,7	89,6	88,6	90,4
AKVAKULTURA						
<i>Slatka voda</i>	31,3	33,4	36,0	38,1	41,7	44,3
<i>More</i>	16,0	16,6	16,9	17,6	18,1	19,3
<i>Ukupno</i>	47,3	49,9	52,9	55,7	59,9	63,6
UKUPNA PROIZVODNJA	137,3	140,2	142,6	145,3	148,5	154,0
Potrošnja [milijuni tona]						
<i>Konsumacija</i>	114,3	117,3	119,7	123,6	128,3	130,8
<i>Ostalo</i>	23,0	23,0	22,9	21,8	20,2	23,2
<i>Svjetska populacija [milijardi]</i>	6,6	6,7	6,7	6,8	6,9	7,0
<i>Svjetska potrošnja [kg/osobi]</i>	17,4	17,6	17,8	18,1	18,6	18,8

Povećanje marikulture proizvodnje, odnosno uzgoja u pučinskim morskim objektima, trenutno je najbolja alternativa agrikulturi čiji daljnji razvoj uključuje dodatnu sječu prašuma, korištenje gnojiva i pesticida itd. Istovremeno, radi prekomjernog korištenja, klasično ribarstvo ne predstavlja dugoročno rješenje, a proširenje kopnene i priobalne akvakulture je ograničeno radi sljedećih razloga: sve manje odgovarajućih kopnenih i priobalnih lokacija, ovisnosti o pouzdanoj opskrbi kvalitetnom vodom, mogućnosti sukoba s drugim korisnicima, problema ribljih fekalija te njihovog neprirodnog okruženja. Zbog navedenih činjenica smatra se da je proširenje akvakulture u veće dubine i dalje od obale veliki prioritet kojemu je nužna potpora kroz istraživanja i razvoj.

Potruga za dodatnim područjima za proširenje akvakulture i prepoznavanje novih komercijalno vrijednih uzgojnih vrsta rezultira proširenjem podsektora marikulture i, u nekim zemljama, razvijanjem pučinskih aktivnosti na širem prostoru s manjom konkurencijom i minimizacijom utjecaja na okoliš. Ekonomska održivost pučinske marikulture predstavlja ozbiljni izazov i

činjenica je da je potreban značajan napredak u tehnologiji. Postoje i određene poteškoće u vezi dostupnosti kapitalnih investicija u istraživanju i razvoju kao i daljnjem napretku komercijalnih pučinskih farmi [4].

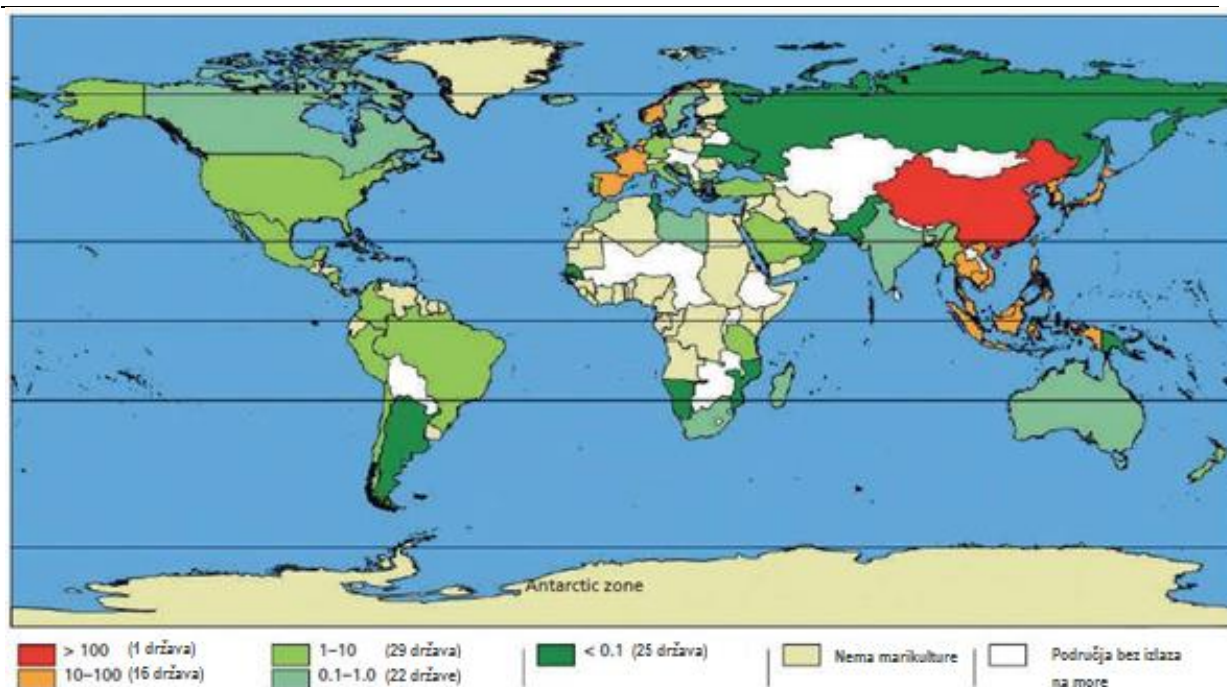
Trendovi svjetske marikulture proizvodnje pokazuju brzi i konstantni porast u proizvodnji morskih biljaka i mekušaca u posljednjih nekoliko desetljeća, dok je stopa rasta kod riba i rakova nešto sporiji, ali također konstantan. Uzgoj algi pokazuje naročito brzi porast u proizvodnji u proteklom desetljeću. Osim rakova, koji se proizvode u obalnim i unutarnjim jezerima, većina proizvodnje se obavlja na moru.

2.2.1. Stanje marikulture u svijetu i EU

Zahvaljujući porastu svjetske populacije, promjeni prehrambenih navika te razvoju dobavne mreže i transporta, ulov i uzgoj ribe u svijetu bilježe prosječnu godišnju stopu rasta od oko 3,2%. Ukupna masa ulovljene i uzgojene ribe u 2010. godini iznosila je 148 milijuna tona (u vrijednosti od 271,5 milijardi \$), od čega se 60 milijuna tona dobilo isključivo uzgojem. Također, valja naglasiti da vlada iznimno značajan porast mase uzgojene ribe s trenutnom godišnjom stopom rasta od nekih 8,8%.

Prema postojećim projekcijama rasta potrošnje ribe, do 2030. godine se očekuje porast ukupne buduće potrošnje ribe na oko 211 milijuna tona uz stagnaciju ribarstva, što znači da će masa uzgojene ribe premašiti ulovljenu te će iznositi 111 milijuna tona. Pretpostavi li se i stagnacija slatkovodne akvakulture proizlazi da će se potreba za dodatnih 51 milijuna tona riba nužno morati osigurati povećanjem trenutnih marikulturnih kapaciteta za 85%, što se efikasno može postići jedino pučinskim marikulturnim objektima vrlo velikog kapaciteta [3].

Vodeći uzgajivači ribe u EU (Norveška, Španjolska, Francuska, Island i dr.) čine 2,3% doprinosa svjetskoj proizvodnji ribe vodeći se osnovnim načelima marikulture, odnosno uzgojem vrsta s dodanom vrijednosti i najvišom kvalitetom proizvoda sa svrhom dugoročnog zapošljavanja velikog broja ljudi, vodeći osobitu brigu o zdravlju i sigurnosti životinja kao i o različitim ekološkim aspektima uzgoja ribe [1]. Slika 3 daje vizualni prikaz intenziteta i geografske raznolikosti marikulture proizvodnje (u tonama po kilometru obale) pojedinih zemalja.



Slika 3. Intenzitet marikulture proizvodnje [t/km] po državama između 2004. i 2008. [1]

Iako je napredak u pučinskoj akvakulturi bio u najmanju ruku sporadičan, postoje indikacije o rastu čovjekove odlučnosti u eksploataciji oceana za proizvodnju hrane u sve većoj mjeri. Izvještaj *FAO-a* iz 2002. godine ukazuje na veći porast akvakulture (ne uključujući pučinsku) u odnosu na sve ostale sektore uzgoja za proizvodnju hrane. S prosječnom stopom rasta od 9,2% od 1970. godine, u odnosu na porast ribarstva od 1,4% i kopnenog uzgoja za proizvodnju mesa od 2,8%, razvio se pojam „Plava revolucija“ koji izjednačuje razvoj akvakulture sa tzv. „Zelenom revolucijom“ koja opisuje značajni napredak agrikulture u drugoj polovici 20. stoljeća. Drugim riječima, između 1970. i 2001., svjetska opskrba ribom udvostručila se sa 65 milijuna tona na više od 130 milijuna tona. Ovaj zapanjujući porast se može u velikoj mjeri objasniti povećanjem svjetskog stanovništva i povećanjem konzumacije ribe po stanovniku [1].

Tijekom posljednjih dvadesetak godina, komercijalne pučinske farme su se osnovala po cijelom svijetu i operatori su bili u mogućnosti iskoristiti poboljšanja u tehnologiji gravitacijskih kaveza i operativnim metodama. Nove ili alternativne tehnologije se također razvijaju, a tu je i trend korištenja potopivih sustava, osobito u otvorenom moru. Tablice 2 i 3 prikazuju potencijal pučinske marikulture u svijetu po zonama, tehničku izvedivost i isplativost marikulturnih površina.

Tablica 2. Potencijal pučinske marikulture pojedinih država u svijetu [1]

	Marikulturne nacije					Nemarikulturne nacije		
	AZ	SUZ	ITZ	JUZ	AaZ	SUZ	ITZ	JUZ
Trenutno stanje marikulture								
Proizvodnja	Kanada	Kina	Kina	Čile	/	/	/	/
Duljina obale	Kanada	Kanada	Indonezija	Čile	/	Danska	Bangladeš	Antarktik
Intenzitet marikulture	Norveška	Kina	Kina	Čile	/	/	/	/
Područje ekskluzivne ekonomske zone	Rusija	SAD	Francuska	Francuska	/	Egipat	Mikronezija	Antarktik
Teritorijalno more + granična zona	Kanada	Kanada	Indonezija	Australija	UK	Iran	Ekvador	Urugvaj
Priobalje (10 – 50m) i pučina (50 - 150m)	Rusija	SAD	Indonezija	Australija	/	Iran	Venezuela	Antarktik
Tehnička izvedivost i isplativost površine za razvoj marikulture								
Dubine pogodne za kaveze (25 – 100 m)	Kanada	SAD	Indonezija	Argentina	/	Iran	Venezuela	Antarktik
Brzine struja za kaveze (10 -100 cm/s)	Danska	SAD	Francuska	Francuska	/	Egipat	Mikronezija	Antarktik
Dubine i brzine struja pogodne za kaveze	SAD	SAD	Indonezija	Australija	/	Egipat	Venezuela	Urugvaj
Isplativost površine za razvoj	Norveška	SAD	Indonezija	Australija	/	Finska	Nigerija	Antarktik

Napomena: AZ = arktička zona SUZ = sjeverna umjerena zona JUZ = južna umjerena zona ITZ = intertropska zona
AaZ = antarktička zona ; Danska spada u SUZ radi asocijacije s Grendlandom

Tablica 3. Tehnička izvedivost i isplativost površine za razvoj marikulture [1]

	Marikulturne nacije		Nemarikulturne nacije		Ukupno	
	Nacije	Površina [km ²]	Nacije	Površina [km ²]	Nacije	Površina [km ²]
Dubine pogodna za kaveze (25 -100 m)	82	12.405.003	71	1.000.446	153	13.405.449
Brzina struja pogodna za kaveze (10 – 100 cm/s)	77	82.244.659	69	16.790.002	146	101.034.662
Dubine i brzine struja pogodne za kaveze	73	1.234.771	65	190.383	138	1.425.154
Isplativost površine za razvoj	79	5.119.018	74	1.015.430	153	6.134.448
Isplativost površine za razvoj uz pogodne dubine i brzine struja za kaveze	69	146.820	52	42.648	121	189.468

2.2.2. Stanje marikulture u Hrvatskoj

Marikultura u Hrvatskoj ima dugogodišnju tradiciju. Trenutno se uzgajaju 7 različitih morskih vrsta na ukupnoj površini od otprilike 4,8 km², odnosno godišnje se uzgoji oko 12.000 tona bijele i plave ribe te školjkaša. Hrvatska ima izuzetno povoljne okolišne uvjete koje su ključne za kvalitetnu i uspješnu marikulturu čiji razvoj znatno doprinosi napretku otočnih zajednica jer omogućava stalno zapošljavanje tijekom cijele godine i osigurava razvoj pratećih djelatnosti [5].

Uzgoj se odvija na području gotovo svih obalnih županija, najviše u zadarskoj, uglavnom u plutajućim kavezima uz primjenu najmodernijih tehnologija u zatvorenom i otvorenom uzgojnom ciklusu. Na Slici 4 je prikazan primjer marikulturnih uzgajališta školjkaša u Istri.

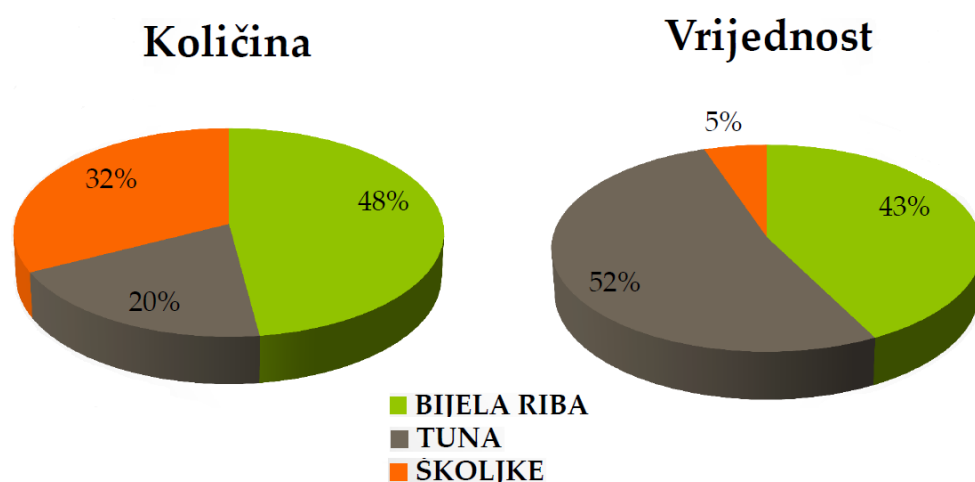


Slika 4. Uzgajališta u uvali Budava u Istri

U 2012. godini registrirano je ukupno 144 uzgajivača, od čega je 118 uzgajivača školjkaša, 25 uzgajivača bijele ribe i 4 uzgajivača tune, koji obavljaju svoj uzgoj na ukupno 330 lokacija od čega je 255 za uzgoj školjaka, 51 za bijelu ribu i 14 za uzgoj tune (na 10 lokacija se kombinirano uzgajaju bijela riba i školjkaši) [5].

Uzgoj školjkaša, pretežito kamenica i dagnji, se odvija tradicionalnim tehnologijama na plutajućim parkovima. Temelji se na sakupljanju mlađi iz prirode pa je potrebno izgraditi i usvajati potrebnu tehnologiju za proizvodnju mlađi kako bi kultivacija bila ekonomski isplativa

jer umjetna mrijestilišta za školjke ne postoje. Dosadašnja proizvodnja bijele ribe u Hrvatskoj nije još dosegla svoj puni kapacitet, ponajviše zahvaljujući nedostatku odgovarajuće obalne infrastrukture. Uzgoj plave ribe u Hrvatskoj podrazumijeva uzgoj tuna. Najčešće se odvija u plutajućim kavezima na poluotvorenim ili otvorenim lokacijama, a započinje ulovom manjih tuna te njihovim daljnjem uzgoju do tržišnih veličina. Gotovo cijela proizvodnja tune se plasira na japansko tržište [3]. Na idućoj slici (Slika 5) su prikazani udjeli količine i vrijednosti pojedinih marikultura u Hrvatskoj.



Slika 5. Stanje marikulture u Hrvatskoj 2012. [5]

Marikultura u Hrvatskoj, neovisno o vrsti koja se uzgaja, ima više problema od kojih je najveći nedostatak odgovarajućih priobalnih lokacija za uzgoj [5]. Iz tog se razloga čini logičkim postepeni prijelaz s obalne i priobalne marikulture na pučinsku u skladu sa svjetskim trendom, gdje nema ograničenja za smještaj uzgajališta.

3. PREGLED KONSTRUKCIJSKIH RJEŠENJA MARIKULTURNIH OBJEKATA

3.1. Općenito

Do danas, razvoj pučinske marikulture zaostaje za priobalnom zbog značajnog jaza u znanju, tehnologiji i iskustvu vezano za kavezne sustave, prateću opremu i kultivacijske prakse potrebne za pouzdani uzgoj velikih razmjera. Taj jaz je uzrokovan nizom razloga i uglavnom je vezan za troškove projektiranja, istraživanja i razvoja te tehnologiju i upravljanje.

Općenito, pučinska prostranstva su izložena vjetrovima, valovima i morskim strujama te stoga zahtijevaju napredne akvakulturne tehnologije i infrastrukture kako bi zadržale zadovoljavajuću razinu učinkovitosti. Tako su se razvila dva pristupa konstrukcijskim rješenjima pučinske marikulture. Prvi pristup se temelji na dograđivanju već postojećih komercijalnih marikulturnih objekata korištenjem robusnijih konstrukcija za potrebe pučinskih uvjeta. Takvi se sustavi sve više komercijaliziraju pa se visoka cijena infrastrukture i korištenja kompenzira većim stupnjem proizvodnje i sve češćom upotrebom daljinski upravljanim tehnologijama. Drugi pristup uključuje izgradnju novih pučinskih objekata, najčešće u obliku velikih potopivih struktura koje uronjavanjem izbjegavaju izloženost vjetru i valovima na pučini [4].

Iako se metode uzgoja riba, školjkaša i algi bitno razlikuju, svima ostaje zajednički problem sidrenja i operativnosti pa postoji opća potreba za sofisticiranim pučinskim rješenjima. Stoga, prilikom projektiranja pučinskih marikulturnih objekata valja uzeti sljedeća razmatranja u obzir: sidrenje u dubokom moru, radni brodovi opremljeni dizalicama i sustavima za sabiranje, sustavi za pohranjivanje i distribuciju hrane, automatizirani ili poluautomatizirani sustav ishrane, sustavi za daljinsko praćenje i upravljanje te razvoj velikih farmi radi ekonomske održivosti [4].

Kako bi se svladao problem velikih valnih opterećenja na pučinskoj opremi, najčešće se poseže za zatvaranjem i uranjanjem strukture, bilo trajno ili samo za vrijeme težih vremenskih uvjeta. Na taj se način reducira naprezanje na samu strukturu uslijed eksponencijalnog smanjivanja brzine gibanja morskih čestica na površini sve do nulte vrijednosti na dubini koja odgovara polovici valne duljine. Osim toga, prednost uranjanja kaveza je gotovo sigurno izbjegavanje konflikata s ostalim korisnicima pučinskih voda, poput pomorskog prometa ili čak rojeva meduza i plutajućih nakupina otpada [2].

Veliki broj pučinskih kaveznih konstrukcija osmišljen je, izgrađen i komercijaliziran tijekom posljednjih 30 godina. Međutim, uronjeni i poluuronjeni kavezi danas predstavljaju najizglednije sustave za daljnu komercijalizaciju. Glavni nedostaci ovakvih uzgojnih struktura su velika inicijalna investicija koja je neizbježna kao i potreba za skupocjenim ronilačkim održavanjem i servisiranjem. Slika 6 prikazuje tipične primjere marikulturnih kaveza u primjeni.

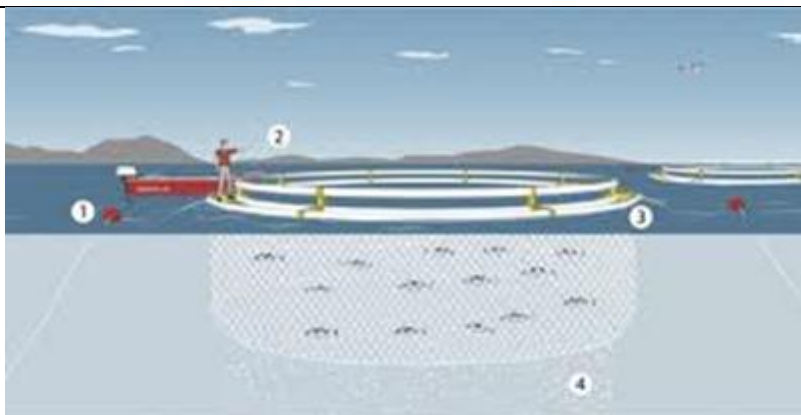


Slika 6. Uronjeni kruti kavez (lijevo) i jednoobodna (single-rim) konstrukcija (desno) [2]

3.2. Kavezni sustavi

3.2.1. Gravitacijski kavez

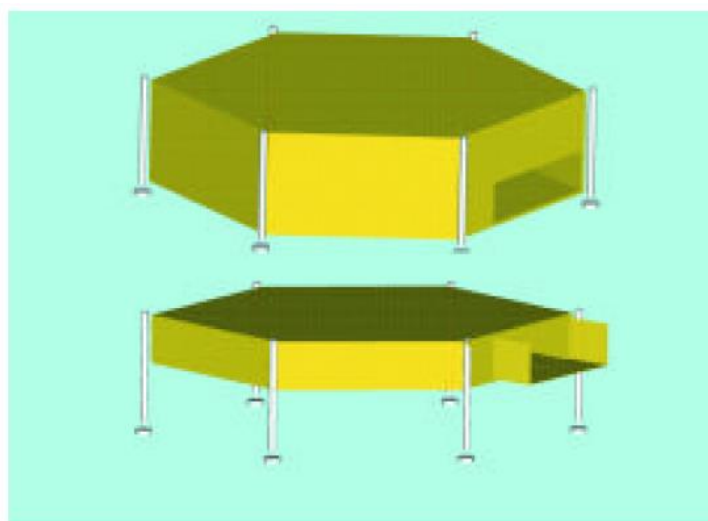
Većinu dosadašnjeg iskustva *offshore* marikulture industrije čine gravitacijski kavezni sustavi koji su ojačana verzija postojećih kompozitnih ili čeličnih konstrukcija ili djelomično specijalizirana varijacija gravitacijskih kaveza. Nezaobilazna karakteristika konvencionalnog gravitacijskog kaveza je njegova podložnost i osjetljivost na deformaciju mreže i gubitak volumena za vrijeme djelovanja morskih struja i valova, što je rezultat nedostatka potporne strukture mreže. Kod nekih vrsta se djelovanje valova prenosi preko mreže, uzrokujući prekomjerno gibanje što može rezultirati njenim trošenjem čak i kidanjem. Iako je gravitacijski kavez najpopularnije rješenje većine komercijalnih pučinskih marikulturnih objekata, njihova upotreba nastala je primjenom poznatih priobalnih tehnologija u pučinskim uvjetima i zbog dojma da nema lako izvedive alternative [2]. Slika 7 prikazuje tipičnu primjenu gravitacijskog kaveza.



Slika 7. Gravitacijski kavezni sustav [2]

3.2.2. Usidreni kavez

Od svih alternativa gravitacijskim kaveznim sustavima, usidreni kavezni sustavi (*anchor-tension cages*) imaju vjerojatno najveći kapacitet za primjenu u većoj mjeri, odnosno u većim dimenzijama. Najčešće su heksagonalnog presjeka s okomitim čeličnim cijevima u svakom kutu, kapaciteta od oko 20000 m³, međutim postoje indikacije za primjenu kaveza do čak 60000 m³. Radi čeličnih cijevnih elemenata, odnosno nedostatka plutajućeg ovratnika, ovakav kavezni sustav ima potencijal biti još „prozirniji“, tj. omogućiti dodatna strujanja u odnosu na gravitacijske kaveze. Osim toga, visoka napetost okvirne konstrukcije osigurava zadržavanje pune forme mreže čak i u jakim strujama i teškim vremenskim prilikama. Međutim, ovakvi sustavi nisu još zaživjeli radi nedostatka ulaganja u tehnologiju i jer se pokazalo da je uzgoj ribe u sličnim sustavima imao prilično slab učinak [2]. Slika 8 prikazuje koncept heksagonalnog usidrenog kaveza.



Slika 8. Heksagonalni usidreni kavezni sustav [2]

3.2.3. Polukruti kavez

Ovakav kavezni sustav se sastoji od jedne središnje čelične cijevi unutar kružnog čeličnog ovratnika. Ta su dva elementa spojena napetim konopom, a mreža je postavljena oko te okvirne konstrukcije. Trenutno su kapaciteti polukrutih kaveza ograničeni na relativno male volumene od 3000 m³ iako se uz dodatno razvijanje mogu očekivati volumeni do 6000 m³. Kao i kod kaveza usidrenih pritegnutim priponama, potrebno je daljnje poboljšanje sustava za ishranu, rukovanje ribom, čišćenje mreže itd., što je posebno zahtjevno kod ovakvih kaveznih sustava radi postavljanja i uranjanja kaveza u uvjetima otvorenog mora [2]. Na sljedećoj slici (Slika 9) se nalazi prikaz djelomično uronjenog polukrutog kaveza u primjeni danas.



Slika 9. Polukruti kavez na otvorenom moru [2]

3.2.4. Kruti kavezi

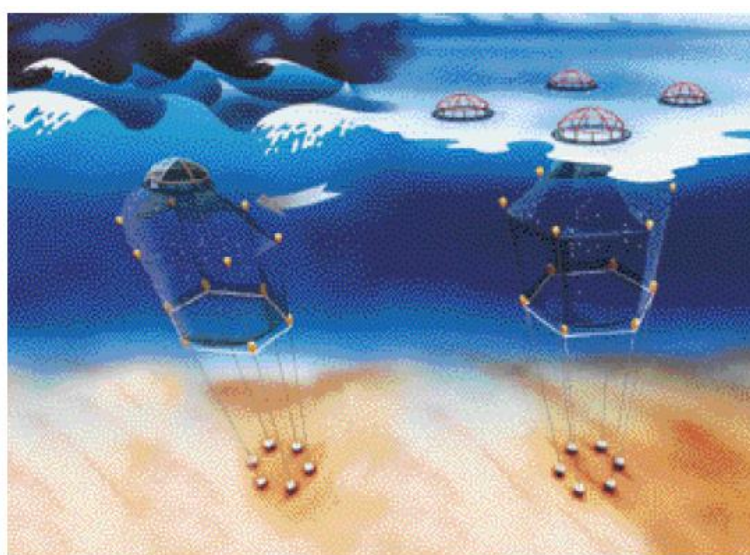
Kruti kavezi podrazumijevaju čvrste okvirne konstrukcije, najčešće od čelika ili nekog drugog prikladnog materijala, oko kojih se postavlja mreža. Mogu biti smješteni na površini (*surface-based*), međutim pokazalo se da takvi kavezni sustavi u izloženim morima rezultiraju uništavanjem mreža radi krutosti okvira. Stoga ne obećavaju puno u poluuronjenim situacijama, a potpuno uronjeni kruti kavezi su i dalje u konceptualnoj fazi. Radi se na konceptu jednog takvog kaveznog sustava, prikazanog na Slici 10. koji bi se sastojao od kompozitnog okvira kuglastog oblika s mogućnošću spajanja na platformu koja bi se mogla rotirati oko glavni osi kaveza. Začetnici tog koncepta tvrde da bi se u takvim sustavima moglo zadržati do 1000 tona riba neovisno o uronjenom ili površinskom kaveznom sustavu [2]. Na Slici 10 je prikazan i kruti kavez danas u primjeni.



Slika 10. Kuglasti kruti uronjeni ili površinski kavez [2] (lijevo) i klasični čelični plutajući kavez (desno)

3.2.5. Kavez usidren pritegnutim priponama

Radi malog plutajućeg ovratnika na površini mora, bez ikakvih priveza, kavez upet pritegnutim priponama izbjegava velika opterećenja uzrokovanih jakim vjetrom i valovima. U situacijama jakih morskih struja, bilo zbog snažnog vjetra ili utjecaja morskih mijena, kavez se smješta u položaj najmanjeg otpora. Trenutni kapacitet takvih sustava je oko 4000 m³ međutim smatra se kako bi se bez većih poteškoća moglo postići kapacitet od oko 15000 m³; više od toga bi zahtijevalo dodatna istraživanja. Kod razmatranja ovakvih kaveznih sustava, valja uzeti u obzir činjenicu da većina morskih područja izvan Sredozemlja ima raspon morskih mijena od 2 do čak 10 metara. U tim područjima, kavezi usidreni pritegnutim priponama na fiksiranoj su dubini ili potpuno uronjeni za vrijeme plime ili im mreža nije napregnuta za vrijeme oseke [2]. Slika 11 prikazuje koncept takvog kaveza.



Slika 11. Kavez usidren pritegnutim priponama [2]

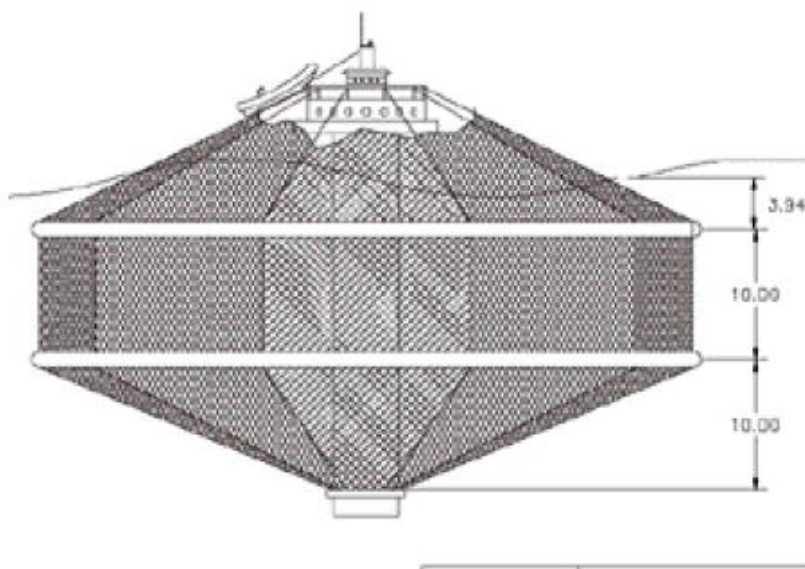
3.3. Ostali sustavi

3.3.1. Ograđeni sustav (*Enclosure system*)

Ovakav jednostavan sustav se sastoji od jednog mrežastog platna koji visi od površinskih plutuća do morskog dna pomoću utega. Nema plutajući ovratnik niti je zatvoren s donje strane, a cjelokupna forma se zadržava plutućama i sustavima priveza. Prednosti ovakvog sustava su potencijalno veliko područje uzgoja koje bi se moglo ograditi kao i fleksibilnost za vrijeme većih valova. Najveći nedostatak je potreba za glatkim i ravnim morskim dnom [2].

3.3.2. Neprivezani kavez (*Untethered cages*)

Neprivezani kavez podrazumijeva kaveznu konstrukciju koja plovi po svjetskim morima pod djelovanjem morskih struja. Takvi su sustavi jako veliki, s inkorporiranim smještajem za posadu i velikim kapacitetom za ishranu. Isto tako mogu sadržati vlastiti propulzijski sustav kako bi posada imala određenu kontrolu nad kursom plovidbe te kako bi se osiguralo zadovoljavajuće strujanje vode kroz kavez. Na Slici 12 je prikazan jedan takav kavez.

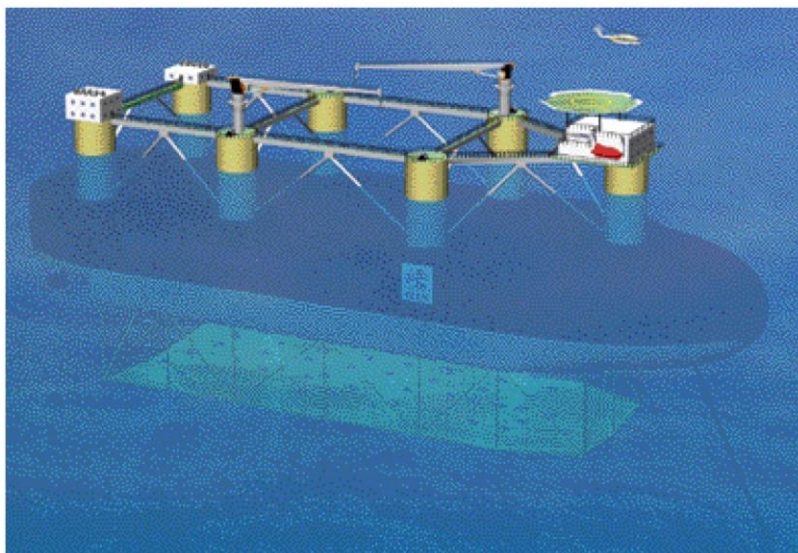


Slika 12. Neprivezani plutajući kavez [2]

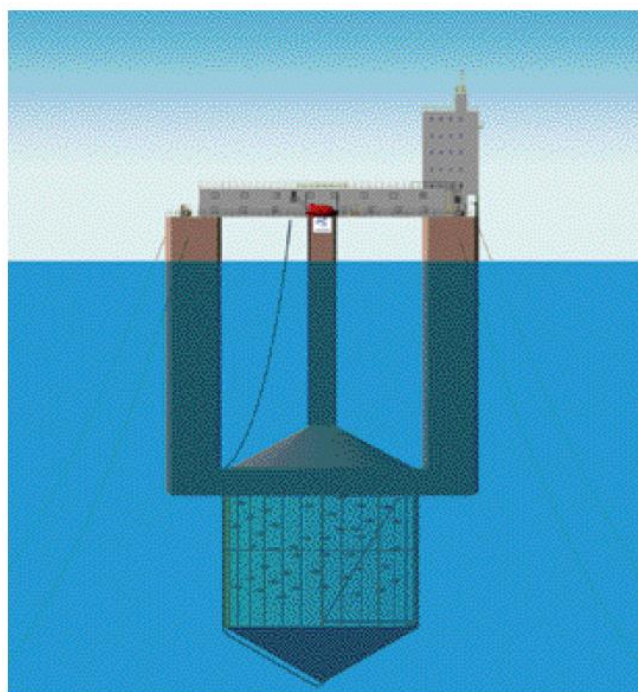
3.3.3. Poluuronjive strukture (*Semi-submerged structure*)

Jedan od najimpresivnijih koncepata novih pristupa pučinskoj marikulturi uključuje poluuronjivi brod, dugačak 189 i širok 56 metara, s tankovima i krutim kavezima pričvršćenim ispod trupa, kao što je prikazano na Slici 13. Ovaj koncept je osmišljen za uzgoj tune s idejom da brod, za vrijeme plovidbe, skuplja živu tunu te ih se hrani u kaveznoj konstrukciji, zatim

prenosi do konačne lokacije. Druga ideja je da bi ovakav brod uzgajanjem mladih riba služio obnovi zaliha iscrpljenom ulovnom ribarstvu. Sličan koncept, vidljiv na Slici 14, postoji i za poluuronjivu platformu ispod koje bi visile velike mreže, dok bi se na palubi nalazili objekti za kultivaciju i mriještenje riba [2].



Slika 13. Poluuronjivi brod za uzgoj ribe [2]



Slika 14. Poluuronjiva platforma za uzgoj ribe [2]

3.4. Osnovne smjernice za projektiranje objekta za marikulturu (Norwegian Standard)

Svrha propisa je smanjenje mogućnosti nastanka tehničkih kvarova i krivog korištenja marikulturnih objekata postavljanjem zahtjeva vezano za njihovo projektiranje i dokumentiranje.

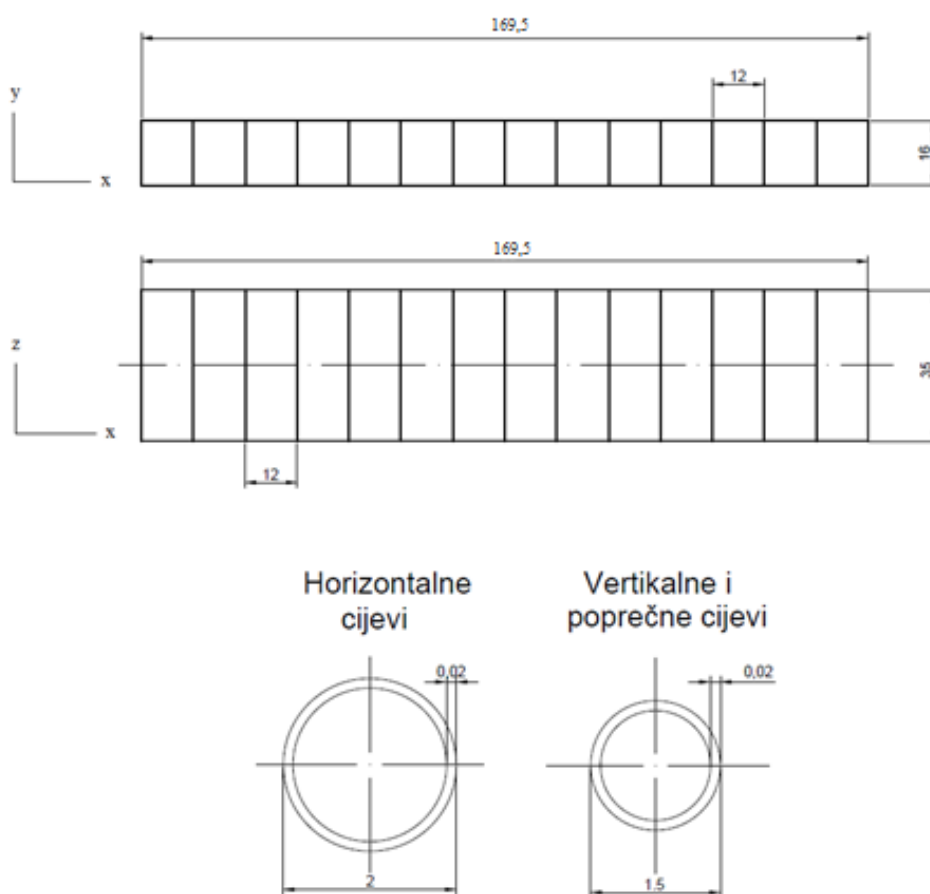
Nalazište marikulturnog objekta se mora pregledati i analizirati na temelju topografije i stupnja izloženosti u obliku parametara oko kojih će se proračunati utjecaji okoline. Neki od parametara su brzina i smjer morskih struja i vjetra, ponašanje i smjer valova, utjecaj leda ukoliko se objekt nalazi u takvom geografskom području itd. Marikulturni kavez se dimenzionira na način da je uzgajanje riba omogućeno bez mogućnosti njihovog bijega ukoliko dođe do tehničkog kvara. Postupak dimenzioniranja između ostalog uključuje određivanje opterećenja kaveza i njihove utjecaje. Projektiranje kaveza za uzgoj riba mora biti obavljeno na odgovarajući način i u skladu s nizom zahtjeva koji su detaljno definirani u [10], te se temelji na procjeni rizika kako bi se osigurala dovoljna čvrstoća objekta ovisno o uvjetima mora. Potrebno je provesti analizu kritičnih spojeva prema definiranim opterećenjima, uključujući i analizu zamora. Svi parametri materijala moraju biti dobavljeni od strane kompetentnog izvora, poput dokumentacije dobavljača vezano za certificiranu opremu ili materijale [10].

Bitno je napomenuti da su dosadašnji propisi za kaveze za marikulturu prilično općeniti i očit je nedostatak jasno definiranih smjernica za gradnju ovakvog objekta. Razlog tomu je značajni nedostatak iskustva koji i dalje prevladava kad su u pitanju marikulturni kavezi većih dimenzija.

4. OPIS PREDLOŽENOG RJEŠENJA ZA PUČINSKU MARIKULTURU

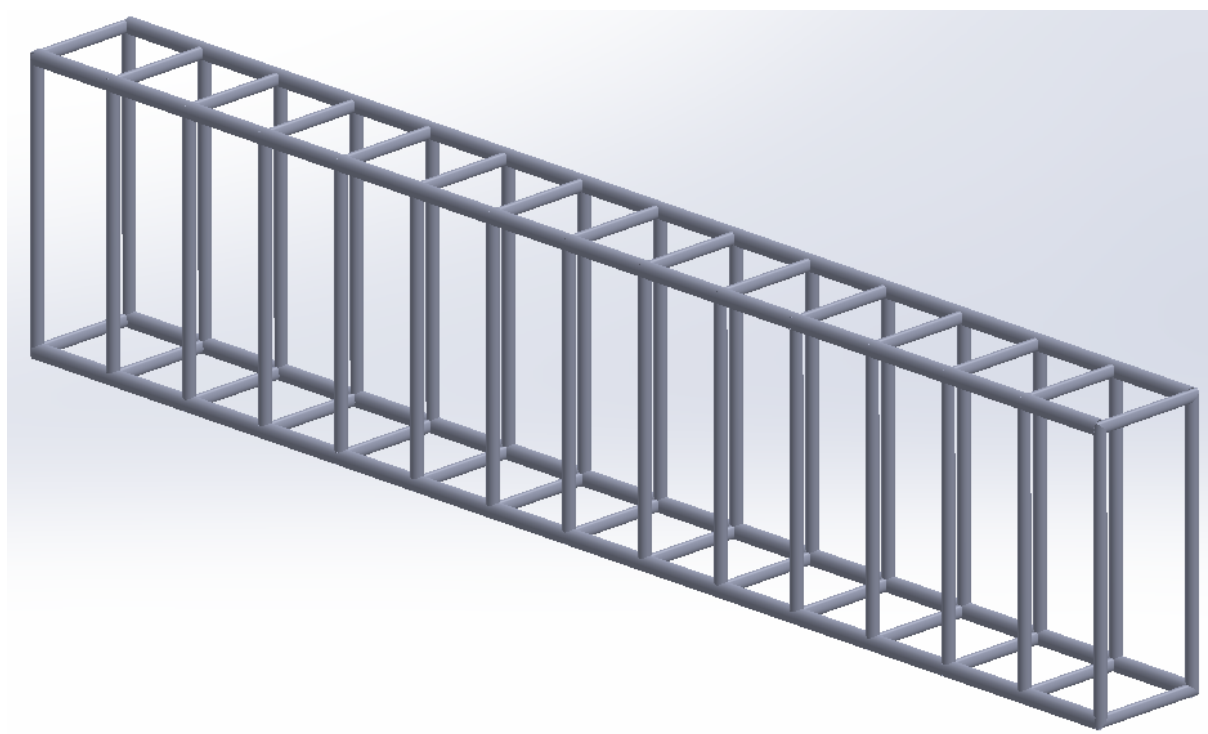
Predloženo rješenje za pučinsku marikulturu je zamišljeno kao kavezna konstrukcija. Sastoji se isključivo od cijevnih elemenata, različitih promjera, ali jednakih debljina radi pojednostavljenja postupka analize čvrstoće koja je prethodno provedena u Projektu B [29]. Preliminarnom analizom čvrstoće na mirnoj vodi u Projektu B ukazalo se na nekoliko problema koje potrebno riješiti; zaključeno je da je nužno koristiti čelik povišene čvrstoće te se u daljnjem dijelu diplomskog radu pretpostavlja gradnja kaveza od upravo takvog čelika.

Prema predloženom rješenju, promjeri su u prvom približenju pretpostavljeni na temelju iskustva, kao i debljina stijenke cijevi. Radi pojednostavljenja, cijevni elementi kaveza su se podijelili u 3 kategorije; horizontalne, vertikalne i poprečne. Odabran je vanjski promjer horizontalnih cijevi od 2 metara, dok će vertikalne i poprečne cijevi imati vanjski promjer od 1,5 metara, a debljina stijenke svih cijevi iznosi 20 mm. Kavezna struktura je dugačka 169,5, široka 16 i visoka 35 metara, a razmak između poprečnih cijevi iznosi 12 metara, kao što prikazuje Slika 15.



Slika 15. Dimenzije kaveza za pučinsku marikulturu

Struktura pojednostavljene kavezne konstrukcije sastoji se od 14 ćelija, unutar kojih se nalaze 14 pomičnih kaveza, kojima je omogućeno translatorno gibanje po visini i dodatno spuštanje do 15 metara u zahtjevnijim vremenskim prilikama. Realni prikaz predložene kavezne konstrukcije za pučinsku marikulturu je prikazan na Slici 16.



Slika 16. Predloženo rješenje kaveza za pučinsku marikulturu

5. TEHNOLOŠKI POSTUPCI PROIZVODNJE ČELIČNIH CIJEVI

5.1. Općenito

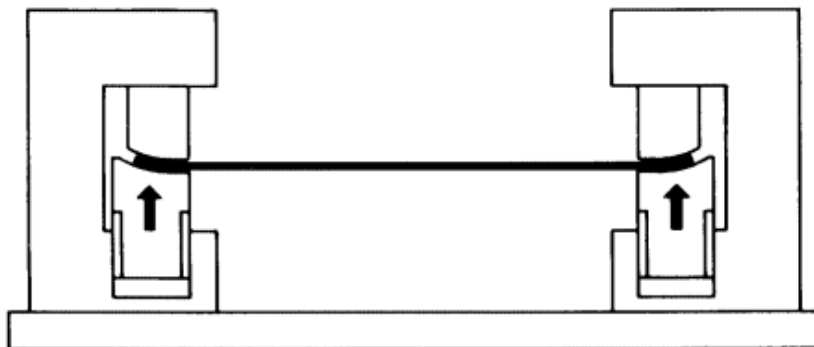
Primjena cijevi je izrazito raznolika te se koriste u raznim industrijskim granama, stoga nije neobično da njihova proizvodnja raste iz godine u godinu, kao i njihove dimenzije. Primjerice, 1980. godine proizvedeno je oko 62 milijuna tona čeličnih cijevi, što je tada činilo oko 8 % ukupne svjetske proizvodnje čelika [6]. Ukupna proizvodnja čelika 2012. godine je iznosila 1,55 milijardi tona od čega ukupna proizvodnja cijevi čini 117,6 milijuna tona odnosno nešto manje od 8 % svjetske proizvodnje čelika [9].

Čelične cijevi se prema postupku proizvodnje mogu kategorizirati kao bešavne cijevi dobivene vrućim valjanjem ili istiskivanjem, ili kao zavarene cijevi dobivene savijanjem i zavarivanjem čeličnih limova. Specifičnost bešavnih cijevi je izvanredna homogenost u obodnom smjeru pa su stoga prilično otporne na unutarnja naprezanja i uvijanje. Zavarene cijevi se proizvode kontinuiranim oblikovanjem vruće valjane zavojnice u cjevasti oblik; razlikujemo elektrootporno zavarene cijevi, spiralno zavarene cijevi i takozvane UO-cijevi, odnosno uzdužno zavarene cijevi [6].

Strukturu prijedloga preliminarne kavezne konstrukcije za pučinsku marikulturu čine čelične cijevi promjera 1,5 metara i 2 metara, stoga se samo razmatraju cijevi koje je moguće naručiti u zadanim dimenzijama. Rijetko je moguće naručiti kvalitetne bešavne čelične cijevi promjera većih od 1,22 metara stoga će se promatrati cijevi velikih promjera (većih od 1,22 metara) koje se najčešće izrađuju tehnološkim postupcima spiralnog ili uzdužnog zavarivanja.

5.2. Uzdužno zavarene cijevi

Limovi potrebni za uzdužno zavarene cijevi se oblikuju pomoću otvorenih kalupa, za takozvane „U-operacije“, i zatvorenih za takozvane „O-operacije“ kao što je prikazano na sljedećoj slici. Prvi korak oblikovanja se sastoji u blagom savijanju uzdužnih rubova lima pomoću posebnih preša za oblikovanje. Polumjer savijanja odgovara približno promjeru cijevi otvorenog šava, odnosno promjeru cijevi prije konačnog zavarivanja [7]. Primjer takve preše je prikazan na Slici 17.



Slika 17. Savijanje uzdužnih rubova lima [7]

U drugom koraku se lim savije u obliku slova „U“ jednom operacijom pomoću alata s određenim kružnim radijusom koji pritišće lim prema dolje između dva oslonca (Slika 18). Prema kraju operacije razmak između oslonaca se djelomice smanji, čime se dobije mali stupanj pretjeranog savijanja kako bi se anulirao i spriječio efekt opruge krajnjih rubova lima [7].



Slika 18. Oblikovanje u obliku slova „U“ [7]

Idućim korakom se lim u obliku slova „U“ postavi na prešu i kalupima u jednom procesu dobije cijev otvorenog šava oblika slova „O“ (Slika 19). Svi koraci savijanja lima su koordinirani kako bi cijev otvorenog šava bila što više okrugla s uzdužnim rubovima u ravni [7].



Slika 19. Oblikovanje u obliku slova „O“ [7]

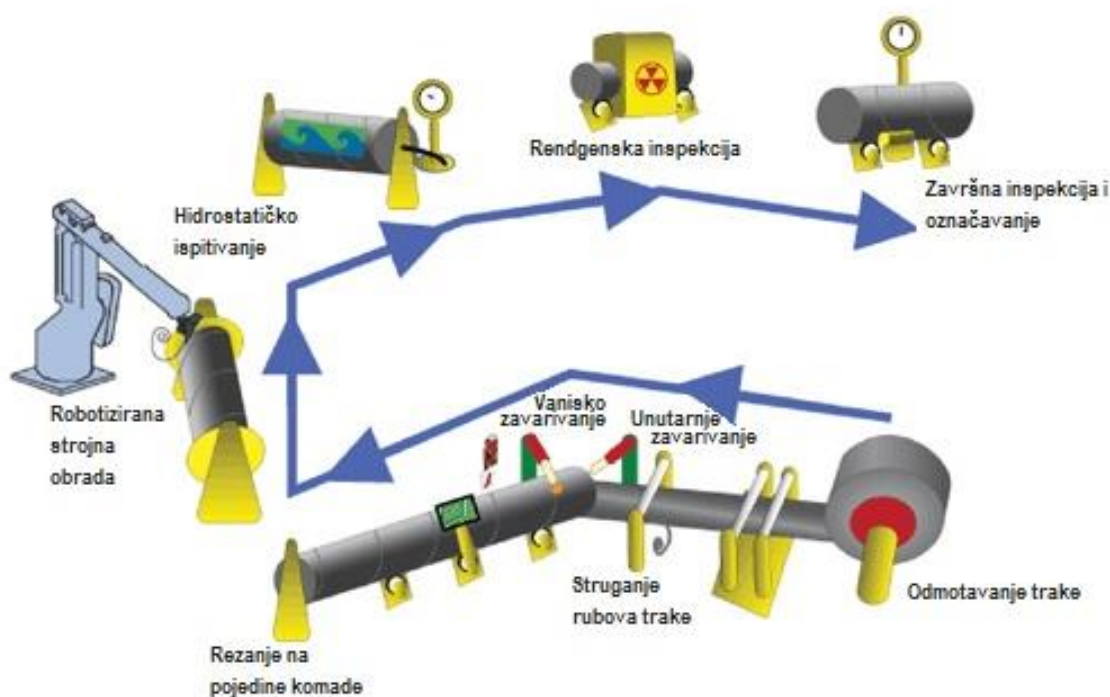
Prije konačnog zavarivanja, dva uzdužna ruba lima moraju se strojarski obraditi i pripremiti kako bi se osigurala maksimalna kvaliteta i točnost zavara. Rubovi cijevi se međusobno pritisnu, kako bi se eliminirala mogućnost pomaka, te se privare kontinuiranim šavom automatskim MAG zavarivanjem. Konačno, privarene se cijevi prenose do mjesta gdje se obavlja elektrolučno zavarivanje pod praškom, najprije s unutarnje zatim i s vanjske strane cijevi. Cijeli postupak završava inspekcijom, odnosno hladnom ekspanzijom (hidrauličkom ili mehaničkom) ukoliko je potrebno, kako bi se zadovoljile specifikacije tolerancija obzirom na promjer i zakrivljenost. Ovakav postupak se koristi za čelične cijevi većih promjera, najčešće do 2 metara, i duljine do 18 metara [7].

5.3. Spiralno zavarene cijevi

Proces proizvodnje spiralno zavarenih cijevi je jedan od najisplativijih načina proizvodnje čelične cijevi jer se relativno lako može dobiti široki raspon promjera cijevi i debljine stijenke uz zadovoljenje određenog stupnja fleksibilnosti. Za razliku od uzdužno zavarenih cijevi, kod kojih svaka cijev zahtijeva određenu debljinu lima, proizvodnja spiralno zavarenih cijevi obilježava činjenica da se mogu postići različiti promjeri cijevi iz lima, odnosno trake, određene debljine. Razlog tome je mogućnost mijenjanja kuta kojim lim ili traka ulazi u stroj za savijanja; što je manji ulazni kut, veći je promjer cijevi. Radi ispunjenja određenih tehnoeekonomskih uvjeta, optimalni omjer promjera cijevi i početne debljine materijala se nalazi u rasponu od 1:2

do 1:2,2. Trenutno, proizvodnja čeličnih cijevi velikih promjera ovom tehnologijom moguće je dobiti cijevi vanjskog promjera do čak 3 metara, početne debljine materijala do 20 milimetara, duljine do 30 metara [7].

Na Slici 20 je prikazana osnovna shema dobivanja spiralno zavarenih cijevi. Tehnologija zavarivanja koja se najčešće koristi je elektrolučno zavarivanje pod praškom. U stroju gdje se ono odvija, usklađeni rubovi trake se najprije zavare s unutarnje strane (promatrano analogno sa satom, na poziciji 06:00), zatim nakon pola okreta cijevi i s vanjske strane (analogno poziciji 12:00 na satu) kao što je vidljivo na Slici 21. Nakon rezanja cijevi na zahtijevanu duljinu, odnesu se na završnu obradu gdje postupak proizvodnje završava strojnom obradom njihovih krajeva, prije čega je potrebno izvršiti hidrostatičko ispitivanje cijevi. Na kraju se cijeli zavar ultrasonično i rendgensko provjeri.



Slika 20. Proizvodnja spiralnih cijevi [8]

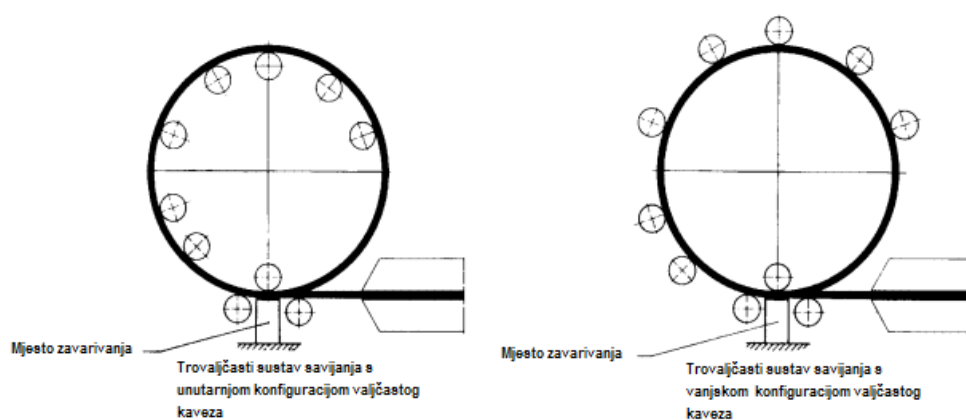


Slika 21. Unutarnje i vanjsko zavarivanje spiralnih cijevi pod praškom [7]

5.3.1. Integrirano oblikovanje spiralnih cijevi

Ovakva proizvodnja cijevi se smatra konvencionalnim pristupom proizvodnje cijevi velikih promjera. Cijeli postupak proizvodnje se sastoji od faze pripreme trake i od faze oblikovanja cijevi s istovremenim vanjskim i unutarnjim zavarivanjem pod praškom. Kod integriranog postrojenja, odmah nakon faze pripreme trake započinje postupak oblikovanja s istovremenim unutarnjim i vanjskim zavarivanjem pod praškom. Moguće je primijeniti razne tehnike oblikovanja za dobivanje spiralnih cijevi; na Slici 22 su prikazane dvije najčešće tehnike:

- Trovaljčano savijanje s unutarnjim valjčastim kavezom
- Trovaljčasto savijanje s vanjskim valjčastim kavezom



Slika 22. Trovaljčano savijanje cijevi unutarnjem (lijevo) i vanjskim (desno) valjčastim kavezom [7]

Primjenom trovaljčaste tehnike, koriste se više pojedinačnih valjaka za oblikovanje i vođenje. Valjčasti kavez služi za popravak uzdužne osi cijevi i za postizanje najveće moguće zakrivljenosti kako bi se spriječilo potencijalno odstupanje i osiguralo usklađivanje rubova trake na mjestu zavarivanja. Na taj se način osigurava točnost dimenzija cijevi te se osiguravaju standardi promjera, zakrivljenosti i tolerancije nakon izlaska cijevi iz stroja. Drugim riječima, nepotrebno je širenje i dimenzioniranje cijevi nakon zavarivanja [7].

5.3.2. Odvojeno oblikovanje spiralnih cijevi

Osnovnu karakteristiku ove novije tehnologije dobivanja spiralnih cijevi čine dva odvojena postupka proizvodnje:

- Oblikovanje cijevi integralnim privarivanjem
- Unutarnje i vanjsko zavarivanje pod praškom na odvojenim postoljima

Osim činjenice da je ovakva tehnika izrade spiralnih cijevi financijski učinkovitija, postoje i tehničke koristi od odvajanja faze oblikovanja cijevi od faze glavnog zavarivanja jer se obje faze mogu zasebno optimizirati.

Kod oblikovanja cijevi, rubovi trake koje se spajaju kontinuirano se privare s unutarnje strane MAG postupkom, otprilike 12 m/min. Nakon privarivanja, cijevi se režu plazma rezačima, kako bi se držao korak s velikim brzinama MAG zavarivanja, na potrebne duljine i time završava faza oblikovanja. Konačno, odrezane cijevi se proslijede na mjesto zavarivanja pod praškom gdje se istovremeno zavaruje cijev s unutarnje i vanjske strane kao i u prethodnoj tehnici [7].

5.4. Proizvođači čeličnih cijevi velikih promjera

Prilikom nalaženja pogodnih proizvođača čeličnih cijevi potrebnih za izgradnju kaveza za pučinsku marikulturu, potrebno je odabrati one koji su zadovoljavali dva osnovna kriterija. Prvi kriterij je da se proizvođač nalazi po mogućnosti što bliže Hrvatskoj kako bi se što više olakšao prijevoz naručenog materijala, a drugi je sposobnost proizvodnje cijevi do 2 metara promjera uz mogućnost odabira raznih vrsta čelika.

Uzevši to u obzir, odabrala su se sljedeći proizvođači koji su ispunili prethodno navedene kriterije:

- ArcelorMittal Projects (Nizozemska)
- TMK Group (Njemačka)
- TPS Technitube (Rusija)
- Europipe (Njemačka)
- EEW Group (Njemačka)

Za svaki odabrani proizvođač napraviti će se tablični prikaz relevantnih parametara cijevnih elemenata uz napomenu da se do određenih parametara poput cijene, detalja vezano za prijevoz itd. nije uspjelo doći unatoč slanju upita svim navedenim proizvođačima. Isto tako, svi podaci se odnose na spiralno zavarene cijevi osim ako je drukčije napomenuto.

Valja naglasiti da se čelične cijevi velikih promjera mogu proizvoditi i u brodogradilištu pomoću strojeva i uređaja za oblikovanje deformiranjem. Značajno iskustvo i takvim postupcima ima brodogradilište Brodosplit koje je proizveo stupove kopnenih vjetroturbina za tvrtku Končar. Međutim, u slučaju proizvodnje dotičnih cijevi, takav postupak podrazumijeva oblikovanje čelika povišene, zavarivanje ravnog šava MAG postupkom te završnu kontrolu i popravke kako bi se osigurao koncentričan poprečni presjek cijevi. osim toga, takva vrsta izrade cijevi podrazumijeva i klasične postupke predobrade materijala (ravnjanje, zrnčenje, sušenje i konzerviranje).

Budući da cijev velikog promjera nije standardni proizvod brodogradilišta, u ovom diplomskom radu je odabrano naručivanje gotovih cijevi u smislu maksimalnog osiguranja kvalitete proizvoda.

5.4.1. ArcelorMittal Projects

Tablica 4. Dimenzijski parametri cijevnih elemenata proizvođača ArcelorMittal [11]

Masa		Debljina stijenke [mm]															
[kg/m]		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Vanjski promjer cijevnog elementa [mm]	864	211	231	252	273	293	314	334	355	375	396	416	436	/	/	/	/
	914	223	245	267	289	311	333	354	376	398	420	441	463	/	/	/	/
	965	236	259	282	305	328	352	375	398	420	443	466	489	/	/	/	/
	1016	248	273	297	322	346	370	395	419	443	467	491	515	539	/	/	/
	1067	261	286	312	338	363	389	415	440	466	491	516	542	567	592	/	/
	1118	273	300	327	354	381	408	435	461	488	515	541	568	594	621	/	/
	1168	286	314	342	370	399	427	455	483	511	539	566	594	622	650	677	705
	1219	298	328	357	387	416	445	475	504	533	562	591	621	650	679	707	736
	1270	311	342	372	403	434	464	495	525	556	586	617	647	677	707	737	768
	1321	323	355	387	419	451	483	515	547	578	610	642	673	705	736	768	799
	1372	336	369	402	436	469	502	535	568	601	634	667	699	732	765	798	830
	1422	348	383	417	452	486	521	555	589	623	658	692	726	760	794	828	862
	1473	/	/	432	468	504	539	575	611	646	681	717	752	787	823	858	893
	1524	/	/	447	484	521	558	595	632	669	705	742	778	815	851	888	924
	1575	/	/	462	501	539	577	615	653	691	729	767	805	842	880	918	956
	1626	/	/	478	517	556	596	635	674	714	753	792	831	870	909	948	987
	1676	/	/	493	533	574	615	655	696	736	777	817	857	898	938	978	1018
	1727	/	/	508	550	592	633	675	717	759	800	842	884	925	967	1008	1049
	1778	/	/	523	566	609	652	695	738	781	824	867	910	953	995	1038	1081
	1829	/	/	538	582	627	671	715	760	804	848	892	936	980	1024	1068	1112
	1880	/	/	553	598	644	690	735	781	826	872	917	963	1008	1053	1098	1143
	1930	/	/	568	615	662	709	755	802	849	896	942	989	1035	1082	1128	1175
	1981	/	/	583	631	679	727	775	823	871	919	967	1015	1063	1111	1158	1206
	2032	/	/	598	647	697	746	795	845	894	943	992	1041	1091	1140	1188	1237
	2083	/	/	613	664	714	765	816	866	917	967	1017	1068	1118	1168	1219	1269
	2134	/	/	628	680	732	784	836	887	939	991	1042	1094	1146	1197	1249	1300
	2184	/	/	643	696	749	803	856	909	962	1015	1068	1120	1173	1226	1279	1331
	2235	/	/	658	712	767	821	876	930	984	1038	1093	1147	1201	1255	1309	1363
	2286	/	/	673	729	784	840	896	951	1007	1062	1118	1173	1228	1284	1339	1394
	2337	/	/	688	745	802	859	916	973	1029	1086	1143	1199	1256	1312	1369	1425
	2388	/	/	703	761	820	878	936	994	1052	1110	1168	1226	1283	1341	1399	1457
	2438	/	/	718	778	837	896	956	1015	1074	1134	1193	1252	1311	1370	1429	1488

2489	/	/	733	794	855	915	976	1036	1097	1157	1218	1278	1339	1399	1459	1519
2540	/	/	748	810	872	934	996	1058	1120	1181	1243	1305	1366	1428	1489	1551
2591	/	/	763	826	890	953	1016	1079	1142	1205	1268	1331	1394	1456	1519	1582
2642	/	/	778	843	907	972	1036	1100	1165	1229	1293	1357	1421	1485	1549	1613
2692	/	/	793	859	925	990	1056	1122	1187	1253	1318	1383	1449	1514	1579	1645
2743	/	/	808	875	942	1009	1076	1143	1210	1276	1343	1410	1476	1543	1609	1676
2794	/	/	823	892	960	1028	1096	1164	1232	1300	1368	1436	1504	1572	1639	1707
2845	/	/	838	908	977	1047	1116	1186	1255	1324	1393	1462	1532	1601	1670	1739
2896	/	/	853	924	995	1066	1136	1207	1277	1348	1418	1489	1559	1629	1700	1770
2946	/	/	868	940	1012	1084	1156	1228	1300	1372	1443	1515	1587	1658	1730	1801
2997	/	/	883	957	1030	1103	1176	1249	1322	1395	1468	1541	1614	1687	1760	1832

Tablica 5. Mehanička svojstva materijala cijevnih elemenata proizvođača ArcelorMittal [11]

	Vrsta čelika	R_e^h za $t < 16 \text{ mm}$ [N/mm ²]	R_e^h za $16 < t < 40 \text{ mm}$ [N/mm ²]	R_m za $3 < t < 40 \text{ mm}$ [N/mm ²]
Prema EN 10219-1	S235JRH	235	225	340-470
	S275J0H	275	265	410-560
	S355J0H	355	345	490-630
	S420MH	420	400	500-660
	S460MH	460	440	530-720
Prema API 5L	B	/	241	414
	X42	/	290	414
	X46	/	317	434
	X52	/	359	455
	X56	/	386	490
	X60	/	414	517
	X65	/	448	531
	X70	/	483	565

Tipična zaštita čeličnih cijevi se odnosi na površinski premaz. Europski standard EN ISO 12944 propisuje zaštitu sustavom bojanja koji pokriva sve dijelove kod kojih je potrebno ostvariti odgovarajuću zaštitu od korozije. Sustavi premazivanja se prvenstveno koriste radi zaštite od korozije kao i radi estetskih razloga, a prije njihovog nanošenja ključno je pravilno pripremiti površinu čelika.

Tablica 6. Standardi AKZ-a cijevnih elemenata proizvođača ArcelorMittal [11]

Premaz	Standard	Aplikacija
Prijedlog 1	EN ISO 12944	Poliamidski konzervirani epoksidni početni premaz (40μm) 2 sloja poliamidskog katranskog epoksidni premaza (210 + 200 μm) Nominalna debljina suhog filma: 450μm
Prijedlog 2	EN ISO 12944	Poliamidski konzervirani epoksidni početni premaz (40μm) Poliamidski epoksidni premaz ojačan staklenim ljuskama (400μm) Nominalna debljina suhog filma: 450μm

Tablica 7. Tolerancije cijevnih elemenata proizvođača ArcelorMittal [11]

	EN 10219-1	API 5L
Vanjski promjer	+/- 1%, min. +/- 0,5mm i max. +/-10mm	+ 6,4mm / - 3,2mm (za D > 914mm)
Debljina stijenke	+/- 10%, max. +/- 2mm (za D>406mm)	+ 19,5% / - 8% (za D > 508mm)
Ravnost	0,20% ukupne duljine	0,20% ukupne duljine
Masa	+/-6%	+10% / -3,5%

5.4.2. TMK Group

Tablica 8. Dimenzijski parametri UZDUŽNO zavarenih cijevnih elemenata proizvođača TMK Group [12]

Masa	Debljina stijenke [mm]															
[kg/m]	10,3	11,1	12,0	12,7	14,3	16,0	17,5	19,0	20,6	22,2	23,8	25,4	27,0	28,6	30,2	31,8
508	126	136	146	155	174	193	212	230	248	/	/	/	/	/	/	/
559	139	150	161	171	192	213	234	254	274	294	314	/	/	/	/	/
610	152	164	176	187	210	233	256	278	299	322	344	366	/	/	/	/
660	165	178	190	203	228	253	277	302	325	349	373	397	/	/	/	/
711	178	192	205	219	246	273	299	326	351	377	403	429	/	/	/	/
762	191	206	220	235	264	293	321	350	377	405	433	461	/	/	/	/
813	204	220	235	251	282	313	343	374	403	433	463	493	/	/	/	/
864	217	233	250	267	300	333	365	398	428	461	493	525	/	/	/	/
914	230	247	265	282	317	352	387	422	454	488	522	557	/	/	/	/

965	242	261	280	298	335	372	409	446	480	516	552	589	625	660	696	732
1016	255	275	295	314	353	392	431	470	506	544	582	620	659	696	734	772
1067	269	289	310	330	371	412	453	494	532	572	612	652	692	732	772	812
1118	281	303	325	346	389	432	475	518	557	600	642	684	726	768	810	852
1168	294	317	339	362	407	452	497	541	583	627	672	716	760	804	847	891
1219	307	330	354	378	425	472	519	565	609	655	701	748	794	840	885	931
1321	333	359	385	410	461	512	563	613	661	711	761	812	862	912	961	1011
1422	359	386	414	441	496	551	606	661	712	766	821	875	929	983	1037	1090

Tablica 9. Dimenzijski parametri SPIRALNO zavarenih cijevnih elemenata proizvođača TMK Group [12]

<i>Masa</i>		<i>Debljina stijenke [mm]</i>													
<i>[kg/m]</i>		5,6	6,3	7,1	8	8,8	10	11	12,5	14,2	16	17,5	20	22,2	25
Vanjski promjer cijevi [mm]	559	76	86	97	109	119	135	149	/	/	/	/	/	/	/
	610	84	94	106	119	130	148	162	/	/	/	/	/	/	/
	660	90	102	114	129	141	160	176	/	/	/	/	/	/	/
	711	97	109	123	139	152	173	190	215	/	/	/	/	/	/
	762	104	117	132	149	163	185	204	231	/	/	/	/	/	/
	813	112	125	141	159	175	198	218	247	/	/	/	/	/	/
	864	/	/	150	169	186	211	231	262	298	/	/	/	/	/
	914	/	/	159	179	196	223	245	278	315	/	/	/	/	/
	1016	/	/	177	199	219	248	273	309	351	/	/	/	/	/
	1220	/	/	212	239	263	298	328	372	422	/	/		/	/
	1420	/	/	247	279	306	348	382	434	492	554	605	691	765	/
	1620	/	/	/	/	/	/	/	/	562	633	692	789	875	/
	1820	/	/	/	/	/	/	/	/	632	712	778	888	984	/
	2020	/	/	/	/	/	/	/	/	702	791	864	986	1094	1230
	2220	/	/	/	/	/	/	/	/	/	870	951	1085	1203	1353
	2520	/	/	/	/	/	/	/	/	/	988	1080	1233	1367	1538

Tablica 10. Mehanička svojstva materijala cijevnih elemenata proizvođača TMK Group [12]

	Vrsta čelika	R_e [N/mm ²]		R_m [N/mm ²]	
		min	max	min	max
Prema API 5L/ ISO 3183	X42/L290	290	495	415	760
	X46/L320	320	525	435	760
	X52/L360	360	530	460	760
	X56/L390	390	545	490	760
	X60/L415	415	565	520	760
	X65/L450	450	600	535	760
	X70/L485	485	635	570	760
	X80/L555	555	705	625	825
	X90/L625	625	775	695	915
	X100/L690	690	840	760	990
	X120/L830	830	1050	915	1145

Što se tiče tolerancija, proizvođač navodi da cijevi mogu biti proizvedeni u skladu sa zahtjevima kupaca za dimenzije i tolerancije, uključujući precizne tolerancije za debljinu stijenke (+/- 6%) i za vanjski promjer (+/- 0,5%), kao i teške cijevi debljine stijenke do 67 mm.

Tablica 11. Standardi AKZ-a cijevnih elemenata proizvođača TMK Group [12]

Premaz	Standard	Aplikacija
Vanjski	DIN 306 78: 1992; Polipropilenski sloj za čelične cijevi	Izolacija cjevovoda u tlu i vodi
Unutarnji	API RP 5L2, ISO 15724, Shell DEP 31.40.30.35	Prijenos plina, nafte ili vode

5.4.3. TPS Technitube

Tablica 12. Dimenzijski parametri cijevnih elemenata proizvođača TPS Technitube [13]

Masa [kg/m]	Debljina stijenke [mm]															
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Vanjski promjer cijevnog elementa [mm]	406	978	107	117	126	135	145	154	163	172	182	/	/	/	/	/
	457	110	121	132	142	153	164	174	185	195	205	216	226	236	246	256
	500	121	133	144	156	168	179	191	202	211	225	237	248	259	271	282
	508	123	135	147	159	171	182	194	206	218	229	241	252	264	275	286
	559	135	149	162	175	188	201	214	227	240	253	266	278	291	304	317
	600	145	160	174	188	202	216	230	244	258	272	286	300	314	327	341
	610	148	162	177	191	206	220	234	248	263	277	291	305	319	333	347
	660	160	176	192	207	223	239	254	270	285	301	316	331	346	362	377
	700	170	17	204	220	237	253	270	286	303	319	335	352	368	384	400
	711	173	196	207	224	241	258	274	291	308	324	341	357	374	390	407
	762	185	204	222	240	258	276	294	312	330	348	366	384	401	419	437
	800	195	214	233	22	271	290	309	328	347	366	385	403	422	441	459
	813	198	217	237	256	276	295	314	334	353	372	391	410	429	448	467
	864	210	231	252	273	293	314	334	355	375	396	416	436	457	477	497
	914	223	245	267	289	311	333	354	376	398	420	441	463	484	506	527
	965	236	259	282	305	328	351	375	398	420	443	466	489	512	534	557
	1016	248	273	297	322	346	370	395	419	443	467	491	515	539	563	587
	1067	261	286	312	338	363	389	415	440	466	491	516	542	567	593	617
	1118	273	300	327	354	381	408	435	461	488	515	541	568	594	621	647
	1168	286	314	342	370	399	427	455	483	511	539	566	594	622	650	677
	1219	298	328	357	387	416	445	475	504	533	562	591	620	650	678	707
	1372	336	369	402	436	469	502	535	568	601	634	667	699	732	765	798
	1524	373	410	447	454	521	558	595	632	668	702	741	778	815	851	888
	1626	398	438	477	517	556	596	635	674	714	753	792	831	870	909	948
	1829	449	493	538	582	627	671	715	760	804	848	892	936	980	1024	1068
Unutarnji promjer	2000	/	546	595	645	696	745	795	846	896	946	996	1047	1097	1147	1198
	2200	/	/	655	709	764	819	874	929	985	1040	1095	1150	1205	1261	1316
	2400	/	/	/	774	833	893	953	1013	103	1133	1194	1254	1314	1374	1435
	2600	/	/	/	838	902	967	1032	1097	1162	1227	1292	1357	1422	1488	1553
	2800	/	/	/	/	972	1041	1111	1181	1251	1321	1391	1460	1531	1601	1671
	3000	/	/	/	/	1041	1115	1190	1265	1340	1415	1489	1564	1639	1715	1790

Tablica 13. Nastavak dimenzijskih parametara cijevnih elemenata proizvođača TPS Technitube [13]

Masa [kg/m]	Debljina stijenke [mm]														
	26	27	28	29	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
Vanjski promjer cijevnog elementa [mm]	406	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	457	276	286	296	306	316	336	355	/	/	/	/	/	/	/
	500	304	315	326	337	348	369	391	/	/	/	/	/	/	/
	508	309	320	331	343	354	376	397	419	440	/	/	/	/	/
	559	342	354	366	379	391	416	440	464	488	512	/	/	/	/
	600	368	382	395	408	422	448	475	501	527	552	/	/	/	/
	610	374	388	402	415	429	456	483	509	536	562	588	614	/	/
	660	407	422	437	452	466	496	525	554	583	612	640	669	697	/
	700	432	448	464	480	489	527	560	589	620	651	682	712	742	/
	711	439	456	472	488	504	536	568	599	631	662	693	724	755	785
	762	472	489	507	524	542	576	610	645	678	712	746	779	812	845
	800	496	515	533	551	570	609	642	678	714	750	785	820	855	890
	813	504	523	542	561	579	616	653	690	726	762	798	834	870	905
	864	537	557	577	597	617	656	696	735	774	812	851	889	927	965
	914	570	591	612	633	654	696	738	780	821	862	904	944	985	1026
	965	602	625	641	670	691	736	781	825	869	913	956	1000	1147	1199
	1016	635	658	682	706	729	776	823	870	916	963	1009	1055	1100	1146
	1067	667	692	717	742	767	817	866	915	964	1013	1061	1110	1158	1206
	1118	700	726	752	779	805	857	909	960	1012	1063	1114	1165	1216	1266
	1168	732	760	787	815	842	897	951	1005	1059	1113	1167	1220	1273	1326
	1219	765	794	822	851	880	937	994	1050	1107	1163	1219	1275	1331	1386
	1372	862	895	928	960	993	1057	1121	1186	1250	1313	1377	1440	1504	1567
	1524	960	997	1033	1069	1105	1178	1249	1321	1393	1464	1535	1606	1677	1747
	1626	1026	1064	1103	1142	1180	1258	1334	1411	1488	1564	/	/	/	/
	1829	1156	1200	1253	1287	1331	1418	1505	1592	1678	1764	/	/	/	/
Unutarnji promjer	2000	1299	1350	1400	1451	1502	1603	1705	1807	1910	2012	2115	/	/	/
	2200	1427	1483	1538	1594	1650	1761	1873	1985	2097	2210	2322	/	/	/
	2400	1555	1616	1676	1737	1798	1919	2041	2163	2285	2407	2529	/	/	/
	2600	1684	1749	1815	1880	1946	2077	2208	2340	2472	2604	2736	/	/	/
	2800	1812	1882	1953	2023	2094	2235	2376	2518	2659	2801	2944	3086	/	/
	3000	1940	2015	2091	2166	2242	2393	2544	2695	2847	2999	3151	3303	/	/

Tablica 14. Mehanička svojstva materijala cijevnih elemenata proizvođača TPS Technitube [13]

	Vrsta čelika	R_e [N/mm ²]		R_m [N/mm ²]	
		min	max	min	max
Prema API 5L	A25	172	/	310	/
	A	207	/	331	/
	B	241	448	460	760
	X42	290	496	490	760
	X46	317	524	520	760
	X52	359	531	535	760
	X56	386	544	570	760
	X60	414	565	625	825
	X65	448	600	695	915
	X70	483	621	760	990
	X80	552	690	915	1145

5.5. Standardi čeličnih cijevi velikih promjera

5.5.1. API 5L - American Petroleum Institute

Specifikacija API 5L pokriva bešavne i zavarene čelični cijevi, najčešće za prijenosne sustave nafte i plina u naftnoj industriji. API 5L je pogodan za transport plina, vode i ulja. Raspon veličina cijevnih elemenata ovisi samo o sposobnostima proizvođača. Specifikacije za API 5L se pridržavaju Međunarodnoj organizaciji za standardizaciju ISO 3183, koji standardizira prijenosne sustave vezano za materijal, opremu i strukturu pučinskih objekata [14].

5.5.2. EN 10219-1 - European Committee of Standards

Specificiraju se tehnički zahtjevi za isporuku hladno oblikovanih zavarenih šupljih profila kružnog, kvadratnog i pravokutnog presjeka. Opseg vrsta čelika je specificiran u ovom standardu i korisnik treba izabrati vrstu u skladu s namjenom i uvjetima korištenja [15].

5.5.3. ISO 3183 - International Organization of Standards

ISO 3183 specificira zahtjeve za proizvodnju dvije razine proizvoda bešavnih i šavnih čeličnih cijevi za primjenu u prijenosnim sustavima u naftnoj i plinskoj industriji [16].

6. PRIJEVOZ, REZANJE I ZAVARIVANJE ČELIČNIH CIJEVI

Za potrebe ovog diplomskog rada, odabran je proizvođač čeličnih cijevi ArcelorMittal prvenstveno radi velikog broja dostupnih korisnih informacija na svojim stranicama i katalogu, poput dimenzijskih parametara, tolerancija, antikorozivne zaštite itd., kao i radi povoljnijeg geografskog položaja u odnosu na ostale tvrtke obzirom na izlaz na otvoreno more.

Kao što je ranije napomenuto, preliminarna analiza čvrstoće kaveza od običnog brodograđevnog čelika kategorije B (prema API 5L) provedena u Projektu B [29] pokazala je nedovoljnu čvrstoću kavezne konstrukcije na mirnoj vodi, stoga je odabran čelik povišene čvrstoće, u ovom slučaju X52 (prema API 5L). Kemijski sastav odabranog čelika je prikazan u idućoj tablici (Tablica 15).

Tablica 15. Kemijski sastav odabranih čelika [11]

Maseni udio [%]	Vrsta čelika	C max.	Mn max.	P max.	S max.	Ti max.
Prema API 5L	B	0,26	1,2	0,03	0,03	0,04
	X52	0,26	1,4	0,03	0,03	0,04

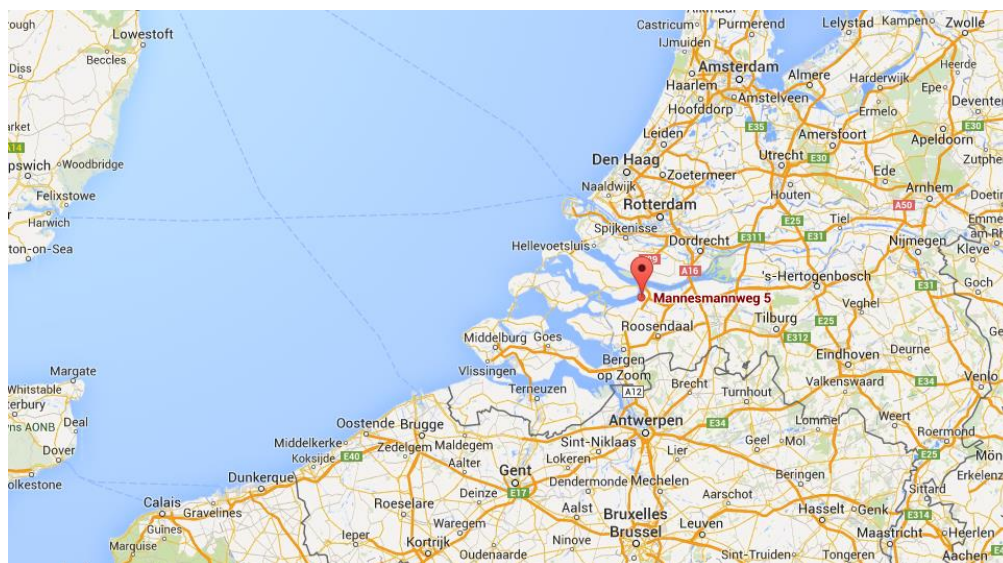
Struktura predložene kavezne konstrukcije, kao što je već navedeno, se sastoji od cijevi vanjskog promjera 1,5 i 2 metara, odabrane pojedinačne duljine od 10 metara. U Tablici 16. su prikazani svi relevantni podaci za naručene cijevi čelika povišene čvrstoće X52, kako za pojedine tako i za ukupni broj cijevi, uz napomenu da se nije moglo doći do točnih proizvođačevih cijena cijevi čelika X52. Iz tog je razloga uzeta cijena drugog dobavljača [22] koji ima jasno definirane cijene ovisno o vrsti čelika standardiziran prema API 5L. Cijena cijevi od običnog čelika kategorije B iznosi 1,8 \$/kg, dok za čelik povišene čvrstoće X52 iznosi 2,8 \$/kg te će se ta cijena koristiti kao referentna cijena za daljnju analizu. Masa cijevi po metru duljine se očitala iz Tablice 4.

Tablica 16. Tablični prikaz relevantnih parametra naručenih cijevi od čelika X52 duljine 10 metara [11]

	Horizontalne	Vertikalne	Poprečne	Ukupno
Vanjski promjer [mm]	2032	1524	1524	/
Debljina stijenke [mm]	20	20	20	/
Ukupni broj cijevi	4	30	30	/
Duljina pojedine cijevi [m]	168	35	16	/
Ukupna duljina cijevi [m]	682	1050	480	/
Masa po metru duljine [kg/m]	992	742	742	/
Masa pojedine naručene cijevi [t]	9,92	7,42	7,42	/
Jedinična cijena čeličnih cijevi [\$/t]	2800	2800	2800	/
Ukupna duljina naručenih cijevi [m]	720	1610		$\Sigma = 2330$
Ukupna masa naručenih cijevi [t]	714,24	1194,62		$\Sigma = 1908,86$
Ukupna cijena naručenog materijala [\$]	1.999.872	3.344.936		$\Sigma = 5.344.808$

6.1. Prijevoz cijevi iz odabrane čeličane u brodogradilište

Kao što je vidljivo na Slici 23, smještaj odabranog proizvođača cijevi je jako povoljan jer ima direktan izlaz na more. Ta činjenica je od velike važnosti jer se na taj način omogućuje jednostavnije i efikasnije transportiranje čeličnih cijevi do brodogradilišta u Hrvatskoj. Brodskim prijevozom se može bitno više materijala prenijeti u komadu bez veće brige o dimenzijama cijevi, o čemu bi se moralo posebno voditi računa kada bi se materijal prevozio kamionima pošto su dimenzije prikolica striktno propisane.

**Slika 23.** Geografski smještaj tvrtke ArcelorMittal [11]

Brodovi koji bi se mogli koristiti za takvu vrstu transporta su tzv. *heavy lifter* brodovi i *open hatch* brodovi. Svaki ima svoje prednosti i nedostatke stoga je potrebno uvažiti što više kriterija i provesti potrebne tehnoekonomske analize prije donošenja konačne odluke. Osim odabira vrste broda za prijevoz cijevi, vrlo je bitno odrediti način ukrcavanja cijevi u brod, položaj cijevi za vrijeme plovidbe uz jasno definiranu tehniku njihovog učvršćivanja te način iskrcavanja.

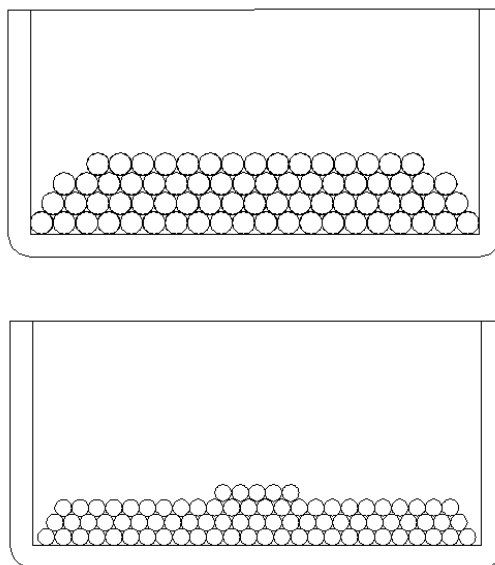
Za potrebe ovog diplomskog rada, odabran je prijevoz čeličnih cijevi *Open hatch* brodom, odnosno brodom za prijevoz općeg tereta, poput onog prikazanog na Slici 24, ponajviše radi praktičnosti skladištenja cijevi. Pema dostupnim generalnim planovima brodova takve vrste, odabrane su sljedeće dimenzije teretnog prostora broda:

- B = 40 m - širina teretnog prostora
- L = 35 m - duljina teretnog prostora
- H = 20 m - visina teretnog prostora
- n = 10 - broj teretnih prostora



Slika 24. Brod za prijevoz općeg tereta [26]

Iz Tablice 16 je vidljivo da ukupna duljina horizontalnih cijevi promjera 2 metra iznosi 720 metara, dok ukupna duljina poprečnih i vertikalnih cijevi promjera 1,5 metra iznosi 1610 metara. Obzirom da je naručena duljina pojedinih cijevi 10 metara, lako se zaključi da će ukupno biti 72 cijevi promjera 2 metra i 161 cijevi promjera 1,5 metra. Poštujući pretpostavljene dimenzije teretnog prostora broda, na Slici 25 je prikazan zamišljeni smještaj cijevi. Razmještaj cijevi promjera 1,5 metra u donjoj slici prikazuje 80 cijevi, odnosno polovicu ukupnog broja, jer se pretpostavlja da će identičan razmještaj biti u idućem teretnom prostoru.



Slika 25. *Smještaj cijevi u teretnom prostoru broda*

Potrebno je naglasiti da je svakako nužna analiza čvrstoće cijevi prije njihovog slaganja jedne na drugu jer nije sigurno bi li cijevi izdržale opterećenje u ovakvoj koncepciji smještanja. Međutim, Slika 26 prikazuje upravo ovakav raspored skladištenja čeličnih cijevi vrlo sličnih dimenzija u čak 4 reda, stoga se pretpostavlja da proizvođač specificira način slaganja i da bi cijevi čelika povišene čvrstoće X52 izdržale takvo opterećenje. Isto tako se vidi da je par cijevi međusobno vezan poliesterskim užetom pa je njihov iskrcaj (i ukrcaj) time prilično pojednostavljen i ubrzan. Iskrcavanje i ukrcavanje se obavlja dizalicom s 4 kuke; jedna kuka se nalazi na svakom kraju pojedine cijevi. Obzirom da takav par cijevi teži između 15 i 20 tona, ovisno o promjeru, nije potrebno imati dizalicu pretjerano velike nosivosti.



Slika 26. *Prikaz užetom zavezanih cijevi i dizaličnog iskrcaja [23]*

Kao alternativa i dodatno moguće rješenje slaganja cijevi na brodu kojim bi se prevozile do brodogradilišta u Hrvatskoj, predlaže se njihovo slaganje u vertikalnom položaju. Postoji više razloga zašto bi takva koncepcija bila povoljna; prvi je što se smanjuje mogućnost njihove deformacije obzirom da se ne bi slagale u redovima jedna na drugu. Drugi razlog je što bi se na taj način efikasnije iskoristio teretni prostor broda jer bi se svakako moglo unutar cijevi većeg promjera smjestiti cijevi manjeg promjera. U tom slučaju, mogući problem bi predstavljalo učvršćivanje cijevi kako bi se spriječio njihov potencijalni gubitak ravnoteže za vrijeme plovidbe. Kao jedno moguće rješenje se preporuča punjenje teretnog prostora broda nekom vrstom pijeska nakon njihovog ukrcanja (između i unutar cijevi) kako bi se fiksirale. Inspiracija tog prijedloga je prijevoz amfora u antičkim vremenima kod kojeg se upravo pijeskom spriječavalo njihovo oštećenje. U slučaju malog broja cijevi, prijevoz se može obaviti i *bulk carrierom* na čijoj glavnoj palubi se mogu smjestiti cijevi.

6.2. Rezanje čeličnih cijevi

Rezanjem materijala se mijenja njegov osnovni oblik, a postupci rezanja prisutni u brodogradnji se mogu podijeliti na mehaničke i toplinske. Osim toga, u tehnološkom postupku rezanja se često istovremeno pripremaju rubovi odreza kako bi se pripremili za zavarivanje [17].

Obzirom na debljinu stijenke naručenih cijevi, cilindričan oblik i čelik povišene čvrstoće od kojeg su napravljene, koristit će se toplinsko rezanje. To podrazumijeva lokalno dovodenje topline na način da metal oksidira, tali ili ispari, ponekad je moguća i njihova kombinacija. Može se zaključiti da postoje sljedeće faze toplinskog rezanja:

- Lokalno zagrijavanje metala do temperature paljenja
- Lokalno dovodenje mlaza kisika, mlaza plazme, laserskog mlaza ili mlaza elektrona
- Odvođenje oksida, taljevine ili isparine

Laserski mlaz se sastoji od svjetlosnih zraka koje ostaju u snopu nakon prelaska relativno velikih udaljenosti, a optičkim uređajima ih je moguće koncentrirati u željenoj točki. Time se dobije vrlo visoka gustoća energije na jednom mjestu kojom je moguće ispariti metal te nastaje rez visoke kvalitete, međutim ograničena je debljina rezanja na otprilike 2 mm [17]. Elektronskim mlazom iz katode izlaze elektroni velikom brzinom te udare u materijal pri čemu se 99% njihove kinetičke energije pretvara u toplinsku kojom se metal tali ili isparava. Vođenje mlaza je vrlo precizno, velika je i brzina rezanja, međutim cijeli postupak je potrebno provesti u vakuumskim uvjetima pa je primjena vrlo ograničena [17]. Mlaz plazme se stvara

ioniziranjem jednoatomnih ili dvoatomnih plinova (H_2 , O_2 , N_2) pomoću kojih dolazi do taljenja metala koji se reže. Brzina rezanja je jako velika, međutim ograničena je maksimalna debljina metala pa nije ekonomično rezati deblje limove [17].

Kod rezanja čeličnih cijevi povišene čvrstoće koristit će se tehnika plinskog rezanja, tj. rezanja mlazom kisika. Mlaz kisika se upuhuje geometrijski točno oblikovanim mlazom na zagrijani metal. Brzina oksidiranja jako je ovisna o čistoći kisika i debljini materijala kojeg se reže, a kada je brzina pomicanja mlaza kisika uzduž reza veća od brzine oksidiranja dolazi do neurednog i nepotpunog reza [17]. Potrebno je zadovoljiti nekoliko uvjeta prije početka rezanja: temperatura zapaljenja metala mora biti niža od njegove temperature taljenja i talište nastalih metalnih oksida mora biti niže od tališta metala kojeg se reže. Bitno je naglasiti da povećani udio ugljika može dovesti do povećanja temperature zapaljenja, stoga ograničenje sadržaja ugljika u čeliku kod ovakvog postupka rezanja iznosi 1,6% [17]. Iz Tablice 15. vidljivo je da sadržaj ugljika u odabranom čeliku povišene čvrstoće X52 iznosi 0,26% što znači da se rezanje može odvijati bez problema.

U prvoj fazi rezanja, toplina se dovodi metalu dok ne postigne temperaturu zapaljenja, a to se postiže smjesom gorivog plina i kisika. U drugoj fazi stupa oksidacija metala, a kvaliteta i brzina rezanja ovisi najviše o čistoći kisika. Trećom fazom se mlazom kisika izbacuje produkt izgaranja iz razdjelnog prostora materijala. Kako bi se sve faze nesmetano odvijale, ključno je koristiti smjesu gorivog plina i kisika u odgovarajućem omjeru. Plin najčešće u upotrebi u brodogradilištima je acetylen (C_2H_2) jer ima veću brzinu izgaranja od ostalih plinova koje dolaze u obzir. Jedan od mogućih postupaka rezanja cijevi je ručno rezanje kao što prikazuje Slika 27, međutim, kao i kod zavarivanja, postoje i strojevi za automatsko rezanje čeličnih cijevi koje su naročito korisni kod većih promjera.



Slika 27. Ručno (lijevo) i automatsko (desno) rezanje smjesom acetilena i kisika [24]

6.3. Postupci zavarivanja čeličnih cijevi

Zavarivanje je postupak spajanja više istih ili različitih materijala taljenjem ili pritiskom, najčešće dodavanjem dodatnog materijala, kako bi se dobio homogeni zavareni spoj sa zahtijevanim mehaničkim svojstvima. Materijal od kojeg su izgrađeni dijelovi koji se spajaju naziva se osnovni materijal, a radi popunjavanja njihovog spoja, ukoliko je potrebno, koristi se dodatni materijal koji obično ima oblik žice. Dakle, zavareni spoj podrazumijeva konstruktivnu cjelinu koju čine osnovni materijal i dodatni materijal za zavarivanje, u kojem razlikujemo lice, naličje, korijen i rub zavora. Kod tehnike zavarivanja taljenjem, zavareni spoj nastaje očvršćivanjem rastaljenog osnovnog materijala i/ili dodatnog materijala. Značajnu važnost kod zavarivanja materijala ima postupak pripreme spoja kod kojeg se moraju poštivati standardi prema ISO ili drugim klasifikacijskim društvima [17].

Postoje razne tehnike zavarivanja, od kojih su najčešći sljedeći:

- Elektrolučno zavarivanje
- Plinsko zavarivanje
- Elektrootporno zavarivanje
- Zavarivanje tokom nabijenih čestica
- Zavarivanje u čvrstom stanju

Potreba za izgradnjom cjevovoda velikih promjera i duljine nekoliko tisuća kilometara rezultirala je intenzivnim istraživanjima na području zavarivanja kojima je osnovni cilj povećanje produktivnosti tehnika zavarivanja kod izgradnje cjevovoda i ispunjenje sve više zahtjeva na kvalitetu zavarenog spoja. Da bi se zadovoljili svi uporabni i tehnološki zahtjevi, sve više se primjenjuju moderni čelici koji imaju izvrsna eksploatacijska svojstva, ali zahtijevaju izuzetnu tehnološku disciplinu, posebno pri zavarivanju, jer se premalim ili prevelikim unosom topline ili odabirom neodgovarajućeg dodatnog materijala, te lošom tehnologijom zavarivanja degradiraju mehanička svojstva zavarenog spoja [18]. Moraju se zadovoljiti kombinacija visoke čvrstoće, žilavosti, zavarljivosti kao i visoka otpornost pojavi hladnih pukotina.

Kod zavarivanja čeličnih cijevi, određeni postupak zavarivanja se koristi samo za zavarivanje korijenskog sloja, dok se za popunu i završne slojeve koristi drugi postupak, koji daje veću količinu nataljenog materijala. Jedno od glavnih pitanja zavarivanja čeličnih cijevi odnosi se na

mehanička svojstva zavarar; drugim riječima, javlja se nedoumica je li potrebno imati zavar boljih svojstava od osnovnog materijala. Lošija mehanička svojstva korijena se još i mogu tolerirati s obzirom da metal zavar većinom sačinjavaju popuna i završni prolazi [18]. Radi smanjenja mogućnosti nastanka hladnih pukotina, materijal cijevi se predgrijava. Osim toga, predgrijavanje nosi pogodnosti poput sušenja vlage s područja pripremljenog spoja za zavarivanje, izgaranja eventualnih nečistoća na površini, smanjenja brzine hlađenja te smanjenja zaostalih naprezanja. Međutim, ono predstavlja i dodatni trošak, a kod prekomjernog predgrijavanja narušavaju se svojstva čelika i metala zavar, ako temperature predgrijavanja prelaze 250°C [18]. Slika 28 prikazuje predgrijavanje cijevi prije njihovog zavarivanja.



Slika 28. Predgrijavanje čeličnih cijevi prije zavarivanja [18]

Obzirom na tehnološke i operativne parametre, te primjenjivost i dostupnost u praksi, odabrani su sljedeći postupci zavarivanja cijevi [18]:

6.3.1. REL zavarivanje celuloznom elektrodom

Ručno elektrolučno, skraćeno REL, zavarivanje je tehnika zavarivanja kod kojeg se električni luk uspostavlja kratkim spojem između elektrode (koja je ujedno i dodatni materijal) i radnog komada. Taljenjem jezgre i obloge elektrode stvara se odgovarajuća količina rastaljenog materijala, troske i plinova. Tekuća troska prekriva metalnu kap za vrijeme prolaza kapi kroz električni luk, a dodatnu zaštitu metalne kapi tvore plinovi koji nastaju disocijacijom komponenata obloge elektrode [19].

Kombinacije REL zavarivanja korijena s celuloznim, te popuna bazičnim ili celuloznim elektrodama pokazuju najbolje rezultate [18]. Elektrode s celuloznom oblogom imaju srednje debelu oblogu, stvaraju puno plinova i malo troske, koja se lako otklanja. Postižu se velike dubine penetracije i brzine taljenja i pogodne su za zavarivanje korijenskih zavar. Troska

celuloznih elektroda se brzo skrućuje te omogućuje upotrebu jakih struja kod zavarivanja u silaznoj poziciji. Na taj se način postiže bolja kontrola taline pa nema bježanja tekuće troske ispred taline i blokiranja električnog luka. Upotreba celulozne elektrode rezultira velikom količinom vodika u metalu zavara što može izazvati probleme kod zavarivanja čelika povišene čvrstoće. Da bi se to kompenziralo, razvijene su celulozne elektrode za zavarivanje „vrućeg“ prolaza, tj. prolaza koji slijedi nakon zavarivanja korijena. U slučaju zavarivanja čelika povišene čvrstoće, ili kada se sumnja u veliki rizik pojave vodikovih pukotina, za zavarivanje popune i završnih slojeva koriste se bazične elektrode [18]. Postupak REL zavarivanja čeličnih cijevi je prikazan na Slici 29.



Slika 29. REL zavarivanje čeličnih cijevi celuloznom elektrodom [19]

6.3.2. MAG zavarivanje

MAG je skraćenica engleskog naziva *Metal Active Gas*. To je tehnika zavarivanja kod kojeg se električni luk održava između taljive, kontinuirane elektrode u obliku žice i osnovnog materijala. Proces zavarivanja se odvija u zaštitnoj atmosferi aktivnog (CO_2 ili mješavina) plina koji štiti talinu zavara od nečistoća iz okolne atmosfere. MAG postupkom se zavaruju nelegirani i niskolegirani čelici, a moguća je i njegova automatizacija čime se ubrzava cijeli proces te olakšava rad ljudima [20].

Ova tehnika zavarivanja ima svoje prednosti poput mogućnosti zavarivanja u svim položajima, velike učinkovitosti, mogućnosti zavarivanja velikih duljina bez zaustavljanja itd. Međutim, ima i nedostatke poput nepovoljnog djelovanja okolnih uvjeta na zavar, javljanja štrcanja što podrazumijeva dodatnu obradu, rada sa složenijim uređajima itd. Dovođenje dodatnog materijala (žice za zavarivanje) do radnog komada se može postići kratkim spojem koji se

koristi za zavarivanje tankih limova, mješovitim lukom kod kojeg dolazi do otkidanja kapljice pa se taj postupak nastoji izbjegavati, i štrcajućim lukom koji se može koristiti u svim položajima, najčešće gdje je potreban veća naslaga metala u zavar [20].

Modificirani MAG postupak (STT – *Surface Tension Transfer*) s kontroliranim prijenosom materijala je među najpovoljnijim postupcima za zavarivanje korijenskog prolaza radi uspješnih operativnih i tehnoloških karakteristika, kao i radi kratkog vremena potrebnog za obuku zavarivača [18]. Ručno zavarivanje cijevi MAG tehnikom prikazano je na Slici 30.



Slika 30. Ručno MAG zavarivanje čeličnih cijevi [8]

6.3.3. FCAW zavarivanje praškom punjenom žicom

FCAW je skraćenica engleskog naziva *Flux Cored Arc Welding*. Radi se o tehnici zavarivanja koja je posebna po tome što se za dodatni materijal koristi praškom punjena žica. Toplinom dobivenom iz električnog luka se tali žica i radni komad kojeg zavarujemo. Može se reći da je ova tehnika zavarivanja neka vrst kombinacije REL, MAG i EPP (elektrolučno pod praškom) zavarivanja [20]. Prednosti FCAW zavarivanja su velika naslaga metala u odnosu na MAG postupak, manje rasprskavanje za vrijeme zavarivanja, velika stabilnost postupka, bolja mehanička svojstva u odnosu na MAG postupak itd. Nedostaci s druge strane su veliko zračenje topline pri zavarivanju, više para i dima u odnosu na ostale tehnike, skuplja i složenija oprema i ograničena udaljenost pištolja od dodavača žice [20].

Praškom punjene žice se sastoje od metalnog plašta i jezgre koja se nalazi u sredini, a kemijski sastav joj je prilično sličan oblozi kod obloženih elektroda. Osnovna prednost u odnosu na punu žicu je veća naslaga metala prilikom zavarivanja pa je samim time i prijenos rastaljenih kapi bolji, stoga je i rastaljena zona ravnomjernija i estetski ljepša.

Za popune i završne prolaze ova je tehnika među najpovoljnijima, pogotovo u kombinaciji sa zaštitnim plinom jer daje dobru produktivnost i kvalitetu zavara [18]. Slika 31 prikazuje poluautomatsko zavarivanje tehnikom praškom punjenom žicom na kojoj je vidljivo kako zavarivač konstantno prati zavar.



Slika 31. Poluautomatsko FCAW zavarivanje čeličnih cijevi [8]

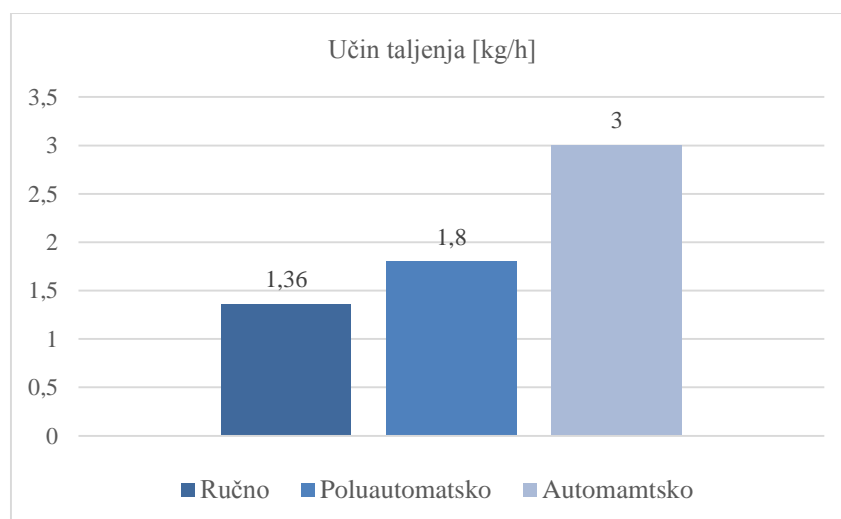
6.3.4. Automatsko i poluautomatsko zavarivanje

Automatski sustavi za zavarivanje dolaze do izražaja pri izradi dugačkih cjevovoda s debljom stijenkom. Potreba za dobrom pripremom, posebnom opremom i izvorima struje te specijalno educiranim operaterima predstavlja veliki trošak koji je isplativ samo na velikim projektima [18]. Isto tako, priprema spoja mora biti jako kvalitetna jer nema previše fleksibilnosti ako je razmak cijevi nejednolik; zato se koriste unutarnji centralizeri koji sprječavaju međusobno pomicanje cijevi. Osnovna razlika između poluautomatskih i automatskih tehnika zavarivanja je uloga zavarivača. Kod poluautomatskog, zavarivač tj. operater uzrokuje gibanje zavarivačkog pištolja, dok se kod automatskog gibanje ostvaruje mehanizmom te se eliminira ljudski faktor. Međutim, oba postupka zavarivanja obavezno zahtijevaju rezervne radne stanice koje se mogu upotrijebiti ako dođe do zastoja uslijed kvara [21]. Glava za automatsko zavarivanje cijevi je prikazana na Slici 32.



Slika 32. Glava za automatsko zavarivanje čeličnih cijevi [8]

Automatsko zavarivanje, ima u usporedbi s ručnim i poluautomatskim zavarivanjem, najveći učin taljenja, najmanji gubitak osnovnog materijala i najveći operativni faktor, odnosno najveću je iskoristivost uređaja i opreme kao što je vidljivo na Slici 33.



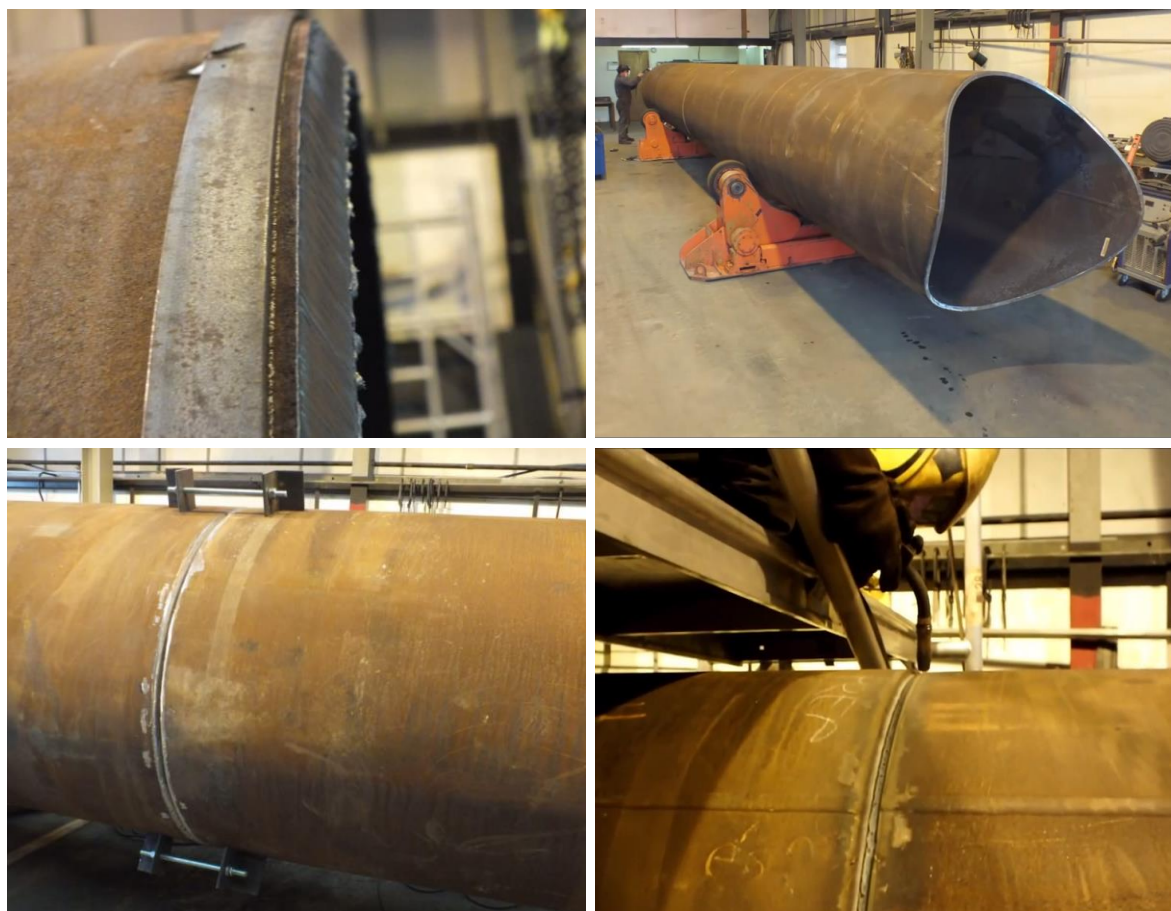
Slika 33. Usporedba učina taljenja raznih tehnika zavarivanja cijevi [21]

Analiza mehaničkih svojstava zavarenih spojeva ukazuje da postoje razlike s obzirom na odabranu kombinaciju zavarivanja, te da optimalne rezultate daje kombinacija modificiranog MAG zavarivanja za korijenski prolaz (STT – *Surface Tension Transfer*) i bazične elektrode za popunu i završne slojeve. STT postupak tolerira znatno smaknuće i nejednolik razmak cijevi i

zahtijeva puno manje vremena za obuku zavarivača nego klasični REL postupak [18]. Pri zavarivanju čeličnih cijevi velikih promjera, najčešće tehnike poluautomatskog ili automatskog zavarivanja su upravo MAG-STT i FCAW zavarivanje.

Velika financijska ulaganja su nužna za nabavu i instalaciju opreme za automatsko zavarivanje; s druge strane, ručno i poluautomatsko zavarivanje se lako mogu prilagoditi raznim tehnološkim zahtjevima i ne zahtijevaju velika financijska ulaganja. Međutim, utjecaj ljudskog čimbenika i potrebe za specifičnom radnom snagom ponekad mogu predstavljati značajne probleme u realizaciji projekta, tako da sve intenzivnija automatizacija zavarivanja cjevovoda predstavlja realnu alternativu [21].

Priprema spoja prije zavarivanja predstavlja jedan od relevantnijih faza na koje je potrebno obratiti posebnu pozornost. Na Slici 34 su prikazane pripreme krajeva cijevi te način njihovog međusobnog fiksiranja prije poluautomatskog zavarivanja.



Slika 34. Prikaz „V“ pripreme spoja i fiksiranja cijevi [27]

Vidljiva je klasična „V“ priprema spoja cijevi prije sučeonog zavarivanja, kao i jednostavna tehnika njihovog međusobnog pozicioniranja i fiksiranja zavarivanjem dviju pločica na cijevima te postavljanjem vijaka između njih pomoću kojeg se cijevi mogu međusobno približiti do zahtijevane udaljenosti te konačno i fiksirati. Zanimljiva je i tehnika poluautomatskog zavarivanja kod kojeg se zavarivač nalazi na njemu najpovoljnijem položaju direktno iznad mjesta spajanja cijevi, s fiksiranim pištoljem za zavarivanje, dok se same cijevi rotiraju oko svoje osi. Rotacija je moguća zbog privarivanja cijevi poslije njihovog fiksiranja, nakon čega se pločice otklone. Na taj način se postiže efikasan i ujednačen zavar za vrijeme rotiranja cijevi, a bitno je naglasiti da se najprije provodi korijensko zavarivanje (najčešće modificiranom MAG-STT tehnikom kao što je ranije spomenuto) nakon čega slijedi zavarivanje za popunu i završne slojeve.

7. PROCES GRADNJE KAVEZA ZA PUČINSKU MARIKULTURU

Montaža cijevi na terenu vrlo je zahtijevan postupak koji uključuje velik broj ljudi s jasno definiranom logistikom zavarivanja i pripreme spojeva, rukovanja cijevima, ispitivanja i itd. Usporedit će se brodograđevni proizvodni proces s onim za gradnju predloženog kaveza za pučinsku marikulturu. U odnosu na brodograđevni, u proizvodnom procesu kavezne konstrukcije nekoliko će se faza preskočiti obzirom da nisu potrebni za izgradnju ovakvog objekta.

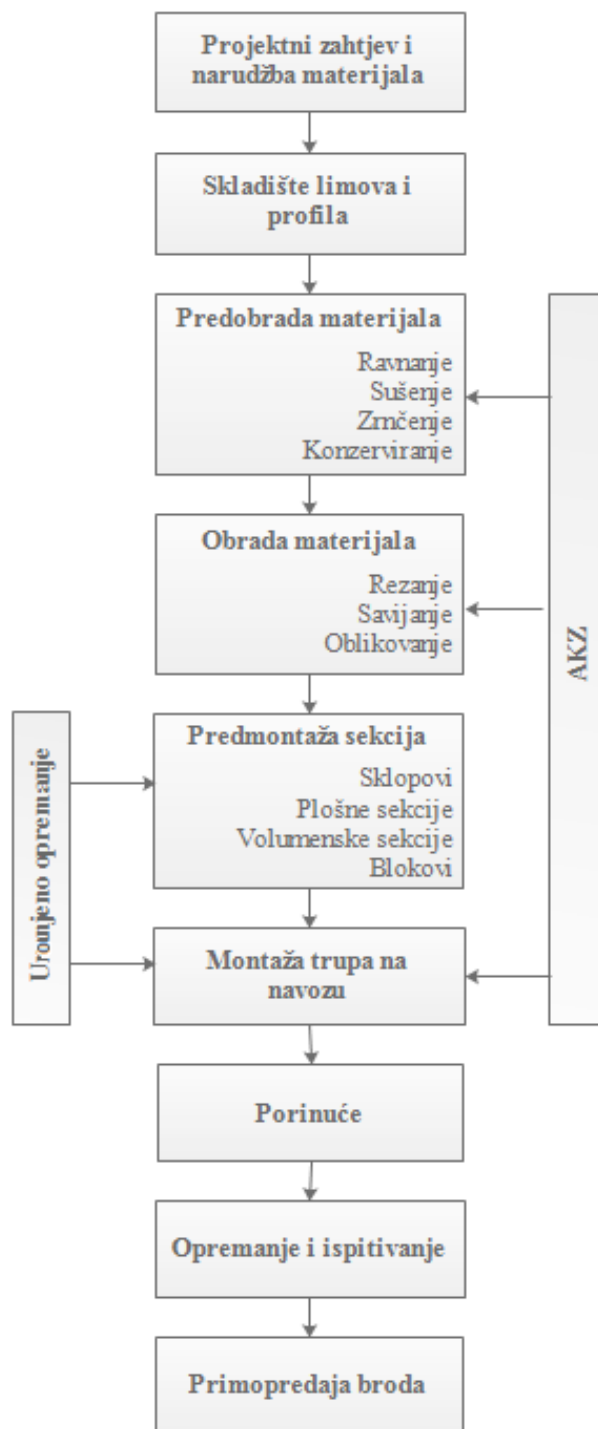
7.1. Brodograđevni proizvodni proces

Proizvodni proces gradnje broda uključuje niz postupaka koji se obavljaju u brodogradilištu sa svrhom dobivanja broda. U tom procesu sudjeluje veliki broj ljudi koji raznim sredstvima prerađuju materijal kako bi izgradili brod po ugovorenim karakteristikama i cijeni u dogovorenom roku.

Cijeli proces počinje prvim kontaktom između brodogradilišta i naručitelja broda, a završava konačnom primopredajom nakon eventualnih nedostataka primijećenih na pokusnoj plovidbi. Između početne i završne faze traje tehnološka faza koju najčešće dijelimo na sljedeći način [25]:

- Projektni zahtjev i narudžba materijala
- Skladištenje limova i profila
- Predobrada materijala
- Obrada materijala
- Predmontaža sekcija
- Montaža trupa na navozu
- Porinuće
- Opremanje i ispitivanje
- Primopredaja broda

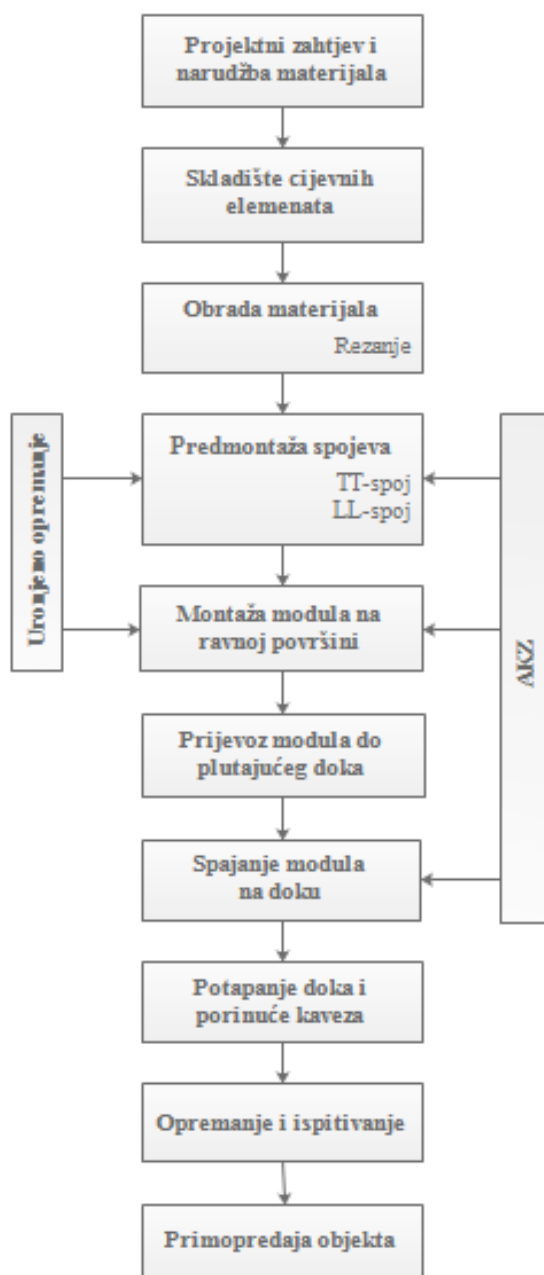
Među procesima postoji određeno vremensko preklapanje koje se ne može izbjeći jer se time nastoji skratiti ukupno vrijeme trajanja procesa gradnje broda [25]. Slika 35 prikazuje shemu brodograđevnog proizvodnog procesa.



Slika 35. Shema brodograđevnog proizvodnog procesa

7.2. Proizvodni proces kaveza za pučinsku marikulturu

Kao što je ranije navedeno, proizvodni proces kaveza za pučinsku marikulturu se razlikuje od onoga za brod, što je vidljivo na Slici 36, zbog činjenice da je brod složenija konstrukcija u čiju izgradnju je uključeno više tehnoloških i stručnih aspekata. Usporedbom shema, vidljivo je da je potrebno skladištiti samo cijevne elemente na kojima je praktički cijeli proces predobrade već izvršen u čeličani, uključujući nanos antikorozivne zaštite. Jedini postupak obrade cijevi u brodogradilištu je postupak rezanja na potrebne duljine, dok se predmontiraju isključivo spojevi cijevi, kojih je u ovoj predviđanoj strukturi ukupno 60.



Slika 36. Shema proizvodnog procesa pučinskog marikulturnog kaveza

7.2.1. Skladištenje cijevi u brodogradilištu

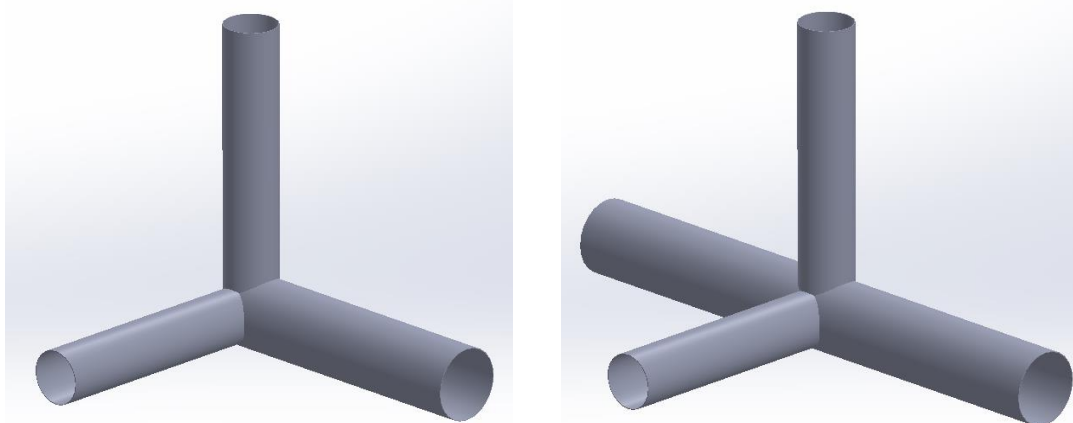
Za razliku od brodograđevnog proizvodnog procesa, za izgradnju dotičnog kaveza za pučinsku marikulturu potrebno je skladištiti samo cijevne elemente naručene iz čeličane. To je moguće na razne načine. Kao i kod skladištenja na brodu kojem su se cijevi dovezele do brodogradilišta, postoje dva osnovna načina njihovog postavljanja u skladištu – horizontalno i vertikalno. Dok je kod vertikalnog slaganja prostor efikasno iskorišten, obzirom da je moguće postaviti cijevi manjeg promjera u one većeg promjera, izgledno je da bi njihovo postavljanje i dizanje bilo prezahtjevno i složeno. Stoga je realnije očekivati horizontalno postavljanje cijevi kod kojeg je jedini dodatni zahtjev onemogućiti njihovo micanje i kotrljanje na skladištu. To bi se najlakše ostvarilo drvenim klinovima ili eventualno kolijevkama. Kod horizontalnog skladištenja potencijalni problem predstavlja i čvrstoća cijevi ukoliko bi se slagale jedna na drugu pa je svakako potrebno provesti dodatnu analizu. Međutim, kao i kod njihovog prijevoza brodom, očekuje se da bi ovakve cijevi izdržale barem 4 reda.

7.2.2. Predmontaža spojeva

Predmontažu spojeva je moguće obaviti na građevnom mjestu, o kojem će dodatno biti riječi kasnije, ili u radionici. Za očekivati je da su uvjeti u radionici pogodniji radi boljih atmosferskih uvjeta, a osim toga, rad u radionici ekološki je puno prihvatljiviji. Ukupni broj ovakvih „LL“ i „TT“ spojeva u trenutno predviđanoj konstrukciji kaveza je 60.

Postupak predmontaže uključuje postupke rezanja i zavarivanja. Toplinsko rezanje mješavinom acetilena i kisika je najpogodnija tehnika rezanja čeličnih cijevi. Prikaz vrste reza koja prevladava u predmontaži spojeva je prethodno prikazan na Slici 38 gdje se vidi da je potrebno rezati cijevi po preciznoj konturi kako bi spoj bio što kvalitetnije izveden. Zavarivanje ovakvih spojeva je nemoguće obaviti automatski, stoga će sigurno prevladati ručno zavarivanje MAG postupkom kao i kod sučeonog zavarivanja. Alternativa tomu je REL zavarivanje, međutim prethodno je navedeno da najkvalitetniji zavari nastaju MAG tehnikom.

Pošto se na nekim mjestima međusobno spajaju čak 4 cijevi, kao što je vidljivo na sljedećoj slici (Slika 37), očiti i potencijalno veliki problem može predstaviti prilično značajan unos topline na relativno malom rasponu cijevi. Utjecaj topline u tolikim količinama je nemoguće empirijski odrediti pa bi zasigurno trebalo dodatno razmotriti i analizirati ponašanje materijala u takvim uvjetima. Slika 37 prikazuje predmontirane spojeve cijevi predviđene za dotičnu kaveznu strukturu.



Slika 37. Predmontirani LL-spoj (lijevo) i TT-spoj (desno)

7.3. Montaža i predaja moru

7.3.1. Građevno mjesto

Proizvodni proces kaveza za pučinsku marikulturu se, kao što se pokazalo, bitno razlikuje od brodograđevnog, a isto vrijedi za sami proces njegove izgradnje. Iako dimenzije predviđenog kaveznog objekta ne odstupaju bitno od nekog broda, građevno mjesto ne mora nužno biti isto za brod i za takvu kaveznu strukturu. Imajući to na umu, mjesto gradnje kaveza mora prvenstveno biti tehnološki i ekonomski racionalno. Samim time, određene opcije se mogu odmah isključiti poput gradnje čitave kavezne konstrukcije na navozu ili suhom doku (u Hrvatskoj nema suhih dokova) jer je financijska isplativost korištenja takvih građevnih mjesta, odnosno njihovog dugoročnog unajmljivanja, u najmanju ruku upitna. Iako trenutno ne postoji nijedan objekt za pučinsku marikulturu ovih dimenzija, duljine skoro 200 metara, u usporedbi s prosječnim brodom koji se gradi na navozu ili doku, masa ovakvog objekta je višestruko manja. Osim toga, brodska struktura je puno kompleksnija te se neusporedivo više dodatne opreme nalazi na brodu u odnosu na kavez za marikulturu. To podrazumijeva puno manji broj potrebne radne snage uključene u izgradnju kavezne strukture, a objekt bi zauzeo cijelo mjesto gradnje koje bi inače mogao zauzeti brod na kojem bi, logično, radilo puno više radnika. Uz navedeno, zbog velike visine objekta kao problem se javlja i ograničenje uslijed dohvata dizalice na navozu ili doku što se ne smije zanemariti.

Dakle, može se zaključiti kako su navoz ili plovni dok neekonomične opcije za izgradnju čitavog kaveza za pučinsku marikulturu ponajviše radi visoke cijene najma prostora, međutim to ne isključuje njihovo korištenje u nekoj kasnijoj fazi gradnje. Valja imati na umu da bi, ukoliko cijena ne bi bio nužan faktor, izgradnja kaveza na plovnom doku bilo optimalno

rješenje radi praktičnosti obavljanja tehnoloških postupaka poput zavarivanja ili namošenja antikorozivne zaštite, kao i predaja vodi.

Uzevši u obzir nezaobilazni ekonomski faktor, kao kompromisno rješenje nameće se modularna gradnja kaveza. U takvoj varijanti, čelične cijevi i predmontirani spojevi koji bi činili module bi se montirali na ravnoj betonskoj površini u sklopu brodogradilišta, zatim bi se gotovi moduli transportirali do plutajućeg doka na kojem bi se vršilo njihovo međusobno spajanje. Takvim se konceptom ograničava vrijeme korištenja odnosno unajmljivanja doka i istovremeno se iskorištavaju sve njegove pogodne karakteristike. U doku se postupci zavarivanja i ponovnog nanošenja antikorozivne zaštite na mjestu spojeva mogu kvalitetno obaviti, a i konačna predaja kaveza moru je tehnološki lako izvedivo. Pritom se podrazumijeva da su u brodogradilištu dostupna parterna transportna sredstva i dizalice potrebne nosivosti, kao i plutajući dok potrebnih dimenzija. Dakle, predlaže se korištenje dva mjesta gradnje pučinskog objekta – ravna betonska površina na kojoj bi se izgradili moduli te plovni dok na kojem bi se ti moduli integrirali.

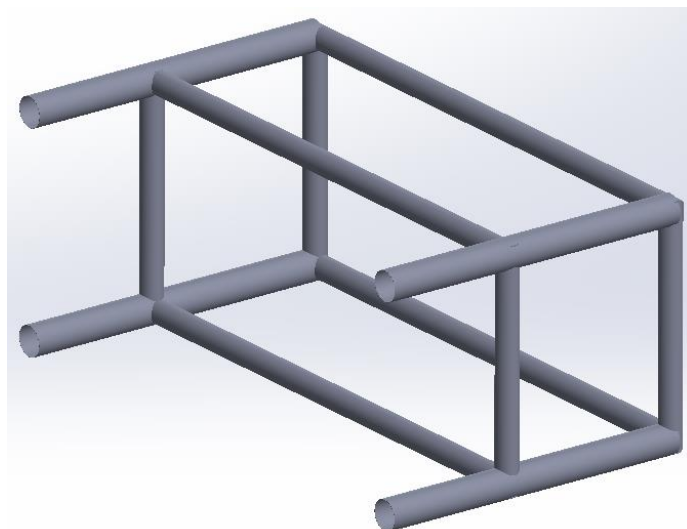
7.3.2. Montiranje i prijenos modula na plutajući dok

Valja naglasiti da u klasičnom brodograđevnom smislu, modul predstavlja građevnu jedinicu koja ima visinu i širinu broda, ali je ograničene duljine. U slučaju gradnje kaveza za pučinsku marikulturu, modul predstavlja logičku građevnu jedinicu konstrukcije u skladu s kapacitetima dostupnih dizalica te također, u ovom slučaju, ima punu visinu i širinu. Predviđeno je izgraditi čitavu kaveznu strukturu od ukupno 8 modula. U trenutnom konceptu konstrukcije, njihova masa ne bi smjela premašiti 250 tona koju bi postojeće dizalice i transportna sredstva u hrvatskim brodogradilištima trebale moći nositi bez većih problema. Dimenzije modula su sljedeće:

Duljina = 21 m	- 1/8 ukupne duljine kaveza
Širina = 16 m	- puna širina kaveza
Visina = 35 m	- puna visina kaveza

Naglašeno je da će se svaki modul graditi na ravnoj betonskoj površini zatim će se montirani moduli transportirati do plutajućeg doka na kojem će se vršiti njihovo međusobno spajanje te porinuće izgrađenog kaveza za pučinsku marikulturu. Međutim, jedna od ključnih stavki koja se predlaže je gradnja modula na način da je polegnut na boku, kao što je vidljivo na Slici 38. Na taj način se dobije zatvorena konstrukcija kojom je puno lakše manipulirati obzirom da se

radi o konstrukciji čiji je odnos visine i širine približno 1:2. Prikaz jednog od modula se nalazi na Slici 38.



Slika 38. Modul kavezne konstrukcije

Svaki se modul mora obavezno montirati na potkladama. Razlog tomu je, osim smanjenja mogućnosti oštećenja konstrukcije, bitno pojednostavljenje kasnijeg prijenosa izgrađenih modula jer se omogućuje jednostavno postavljanja parternog transportera ispod konstrukcije o čemu će biti više riječi kasnije. Ispod svakog modula će biti smješteno nekoliko pravilno raspoređenih čeličnih potklada na kojima će se cijevi postaviti te međusobno zavariti. Alternativa su betonske potklade na kojima su postavljane drvene grede koje dodatno sprječavaju oštećenje konstrukcije. Unaprijed postavljene potklade u doku su prikazane na Slici 39.



Slika 39. Primjer potklada na kojima se smješta sekcija brodskog trupa

Nakon montiranja, svaki se modul mora zasebno transportirati na plutajući dok u kojem je predviđeno njihovo međusobno spajanje. Najpogodniji način kojim se transport takvog objekta može obaviti je autonomnim parternim transporterom s vlastitim hidrauličnim sustavom za podizanje tereta koji lako može nositi konstrukcije predviđane mase. Prethodno je naglašeno da se postavljanjem potklada ispod modula pojednostavljuje postupak njegovog podizanja i transportiranja. Nakon podizanja modula, potrebno ih je jedan po jedan prebaciti na plutajući dok. Neposredno prije, nužno je omogućiti izravno prebacivanje transporterera koji nosi modul na dok. Predlaže se, dakle, dovoženje plutajućeg doka do obale pomoću remorkera ili sličnih brodova koji bi bez većih poteškoća mogli manevrirati dok te ga adekvatno postaviti kako bi transporter mogao nesmetano prebaciti module s betonske površine na kojoj su izgrađeni do plutajućeg doka. Prikaz transporta čelične konstrukcije pomoću parternog transporterera je dan na Slici 40.



Slika 40. Prijenos pučinskog objekta parternim transporterima [24]

Strukture potpuno ili djelomično uronjene u morskoj vodi zahtijevaju posebnu pozornost radi korozivnog djelovanja mora na čelik. Životni vijek ovakvog pučinskog marikulturnog objekta zasigurno neće biti manji od 15 godina; dakle za njegovu dugoročnu učinkovitost ne bi smjelo biti kompromisa na kvalitetu antikorozivne zaštite. Prethodno je naglašeno da odabrani proizvođač cijevnih elemenata (*ArcelorMittal*) nudi vlastiti kvalitetni antikorozivni premaz (Tablica 6) na poliamidskoj bazi ukupne debljine 450 μ m, stoga se tehnološki postupak nanošenja antikorozivne zaštite u brodogradilištu javlja tek nakon spajanja modula na plutajućem doku. Razlog tomu je što je prije bilo kakvog privarivanja ili zavarivanja cijevi, potrebno pripremiti mjesto spoja brušenjem, što automatski podrazumijeva skidanje slojeva zaštitnog premaza. Isto vrijedi i fazu predmontaže u kojoj se zavaruju „LL“ i „TT“ spojevi.

Dakle, od velike je važnosti ispravno i kvalitetno provesti i provjeriti postupak nanošenja premaza. Isto tako, imperativno je pobrinuti se da mu je kemijski sastav identičan onome koji je proizvođač prvotno koristio kako bi se osigurala svrsishodnost i kvaliteta novo nanese antikorozivne zaštite. Potrebno je imati na umu i da tehnika nanošenja premaza bude kompatibilna s originalnom proizvođačevom tehnikom. Svakako valja razmatrati i opciju dodatne elektrokemijske zaštite protiv korozije koja se temelji se na usporavanju njenog djelovanja katodnom ili anodnom polarizacijom metala tj. pomakom elektrokemijskog potencijala metala u negativnom ili pozitivnom smjeru.

7.3.3. *Predaja kaveza za pučinsku marikulturu moru*

Najveća pogodnost koju nosi spajanje modula kaveza u plutajućem doku je jednostavnost porinjavanja takvog objekta. Ranije je napomenuto zašto bi to predstavio tehnološki zahtijevan postupak na navozu, međutim porinuće iz plovnog doka je tehnološki vrlo lako izvediv.

Nakon izvršenja svih postupaka montaže, kavez se porine tako da se plutajući dok, na kojem su se moduli integrirali u kaveznu konstrukciju, potopi pomoću balasnog sustava koji omogućuje ulaz mora u strukturu doka. U trenutku kada kavez, koji je polegnut na bok, postigne dovoljan uzgon da slobodno pluta, brodom se tegli do najpovoljnijeg mjesta gdje može započeti njegovo okretanje odnosno uspravljanje. To se također postiže balasnim sustavom tj. pumpama pomoću kojih se strogo reguliraju količina vode i mjesta koji se pune. Kako bi okretanje takve konstrukcije započelo, punjenje cijevi vodom se radi samo na jednoj strani kaveza. Time bi se na toj strani povećala njegova težina te bi se počeo stvarati moment koji bi uzrokovao okretanje kaveza oko težišta sistema. Postupak okretanja kaveza završava postizanjem zadovoljavajućeg i stabilnog uspravnog položaja te osiguravanjem predviđanog gaza. Slika 41 prikazuje postupak potapanja plovnog doka.

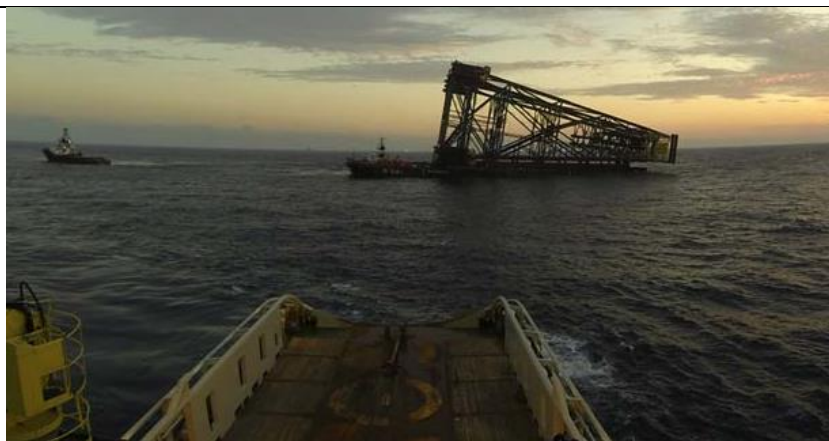


Slika 41. Potapanje plovnog doka [28]

Jedan od značajnih i nezaobilaznih stavki kaveza za pučinsku marikulturu je nužnost spriječavanja obraštanja konstrukcije, čija je pojava neizbježna radi jakih morskih struja u pučinskim uvjetima i radi predviđanog životnog vijeka objekta od otprilike 20 godina. Poznato je da postoje premazi koji relativno lako rješavaju problem obraštanja, međutim osim izrazito visoke cijene nabave i nanošenja takvog premaza, postoje standardi i propisi koji se moraju poštovati prije njihovog korištenja. Drugim riječima, nije poznato bi li se uopće moglo nanijeti sloj premaza protiv obraštanja na već naručenu antikorozivnu zaštitu koju nudi proizvođač. Osim toga, valja detaljno razmotriti utjecaj eventualnog premaza na uzgoj morskih organizama. U tom području postoji značajni nedostatak znanja i iskustva što podrazumijeva dodatne konzultacije s nadležnim strukama, s kojima će se neminovno morati provesti daljnja istraživanja. Međutim, sa sigurnošću može predvidjeti neophodnost angažmana ronionca po tom pitanju, koji bi trebali redovito održavati i čistiti konstrukciju od obraštanih organizama kako bi se osigurao prirodan tok morske vode kroz kavez te samim time i zdravlje uzgojenih riba.

7.3.4. Alternativna rješenja predaje moru

Predaja predviđanog marikulturnog kaveza moru može se obaviti na više načina, isto vrijedi i za njegovu izgradnju. Zadržavanjem postojećeg koncepta modularne gradnje kaveza za pučinsku marikulturu, temeljen na spajanju modula na plutajućem objektu s kojeg bi se vršilo i porinuće, kao alternativno rješenje moguće je korištenje barže na kojoj bi se montirani moduli postavili te međusobno spajali. Nakon provedene tehnoekonomske analize koja bi dala realni uvid u najpovoljniju odluku, umjesto unajmljivanja barže potrebnih dimenzija, ona bi se po potrebi lako mogla izgraditi u postojećem brodogradilištu. Transport modula s obale na baržu bi se obavilo na identičan način kao kod korištenja plutajućeg doka, tj. parternim transporterima, međutim prethodno bi se morao osigurati potreban gaz kako bi barža i obala bili u ravnini radi izbjegavanja potencijalnih poteškoća za vrijeme transporta. Nakon spajanja modula, barža s izgrađenim kavezom bi se remorkerima teglila do pogodnog mjesta gdje bi se kavez porinuo. U skladu s porinućem sličnih objekata, konkretno, tzv. *jacketa* korištenih u *offshore* industriji, barža bi se zakrenula oko svoje poprečne osi, što bi uzrokovalo klizanje kaveza odnosno predaju moru. Kao i kod prvotnog predloženog rješenja, nakon porinuća bi nastupio postupak okretanja kaveza u moru koji bi se također vršio na isti način. Koncept gradnje i porinuće takvog objekta prikazan je na Slici 42.

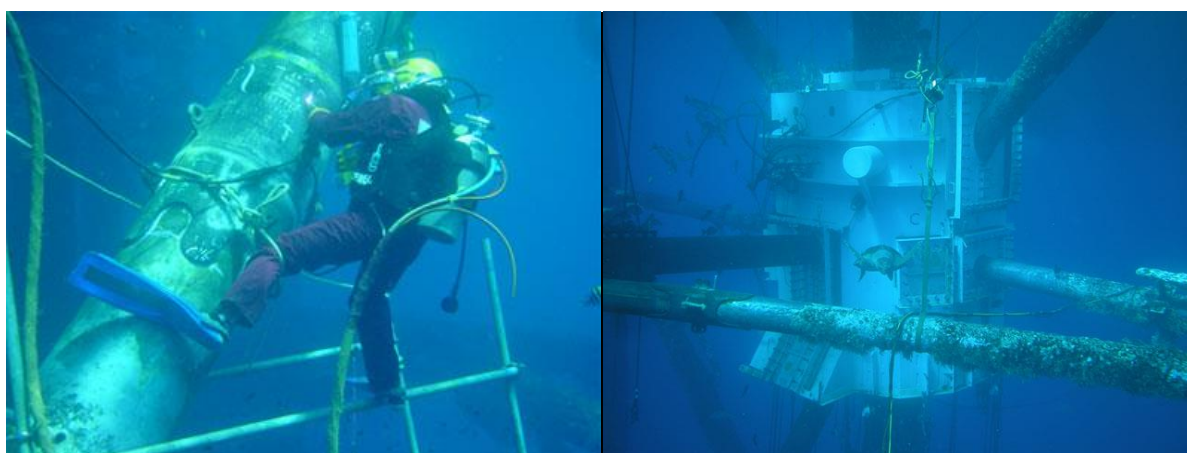


Slika 42. Porinuće pučinskog objekta s barže [24]

Jedna od opcija koja je dodatno razmatrana je i mogućnost spajanja modula u moru. Koncept njihovog međusobnog spajanja bi bio takav da bi se najprije porinula zatim i međusobno zavarila čitava donja polovica kaveza, koja bi se sastojala od 4 modula. Svaki modul bi imao punu širinu kaveza, međutim imao bi polovicu ukupne visinu i četvrtinu ukupne duljine kaveza. Predaja modula vodi bi se obavila pomoću portalne dizalice koja ima nosivost 300 tona te bi bez poteškoća mogla podignuti takvu konstrukciju. Naravno, podrazumijevalo bi se da dizalica ima potreban krak iznad mora koja bi omogućila takav koncept predaje modula moru. Obzirom na predviđeno korištenje portalne dizalice, može se zaključiti da bi se dizanje modula, odnosno hvatanje, obavilo kukama koje bi se zakvačile za tzv. uške koje se prethodno moraju zavariti za cijevi. Prije njihovog zavarivanja nužno je poznavanje težišta mase modula, te bi se sukladno tome odredio potrebn broj uški; načelno nastoji se izbjegavati stvaranje momenta oko težišta mase kako bi spuštanje modula u more proteklo što lakše i pravilnije. Modul bi se spuštao do postizanja ravnoteže uzgona i težine, uz prethodno osiguranu nepropusnost. Nakon spajanja donje polovice kaveza, gornja polovica bi se, modul po modul, spojila na donju već porinutu polovicu. Takva opcija bi predstavila tehnološki vrlo zahtijevan postupak pošto bi se čitava donja polovica kavezne konstrukcije spajala pod vodom, za koje je neizbježno koristiti tehniku podvodnog zavarivanja.

Glavne poteškoće kod spajanja modula u moru i podvodnog zavarivanja je njihanje plutajućeg objekta uslijed djelovanja valova te prisustvo visokog tlaka zbog stupca vode pod kojim se odvija podvodno zavarivanje, hladno djelovanje vode na metal šava (što može utjecati na njegovu strukturu i svojstva) i mogućnost proizvodnje smjese vodika i kisika u džepovima, što može uzrokovati eksploziju. Podvodno zavarivanje može se podijeliti na tzv. „mokro“ zavarivanje i „suho“ zavarivanje koje se obavlja u posebno konstruiranim pretlačnim komorama pomoću

kojih se izbjegava izravan dodir metala zavara s vodom, međutim upitna je njihova primjena na cijevima takvih promjera. Prevladavajuća tehnika podvodnog zavarivanja je REL zavarivanje pomoću posebnih vodootpornih elektroda, ponekad se koriste FCAW i MIG tehnike [31], međutim upotrebom pretlačne komore se opcije zavarivanja proširuju pa su moguće i druge tehnike pošto se spajanje elemenata odvija u suhim uvjetima. U ovakvom konceptu gradnje kaveza, javlja se veliki problem ponovnog nanošenja antikorozivne zaštite na spojevima cijevi gdje se prethodno obavilo zavarivanje te je upitna njegova izvedivost u podvodnim uvjetima u kojem je nužno osigurati identičan kemijski sastav proizvođačevom premazu. Slika 43 prikazuje tehnike podvodnog zavarivanja cijevnih elemenata.



Slika 43. Podvodno zavarivanje cijevnih elemenata u mokrim (lijevo) i suhim (desno) uvjetima [31]

8. ZAKLJUČAK

Način kojom bi se proizvodnja hrane povećala, istovremeno zadovoljavajući rastuću potražnju radi porasta svjetske populacije, predstavlja veliki izazov. Među učinkovitijim rješenjima sve češće se nazire pučinska marikultura koja je doživjela značajan napredak tijekom posljednjih nekoliko desetljeća. Međutim, valja naglasiti da i dalje postoji veliki prostor za dodatni razvoj marikulturnih objekata za ostvarenje komercijalno izvedivih i isplativih sustava. Takvi sustavi moraju uključiti cjelokupni postupak uzgajanja morskih organizama od kojih svi moraju biti uspješno provedeni na otvorenom moru po teškim i zahtjevnim uvjetima, a njihova ekonomska održivost i isplativost jedino je moguća ukoliko su objekti u pitanju dovoljno veliki s proizvodnjom većom od trenutno najvećih priobalnih uzgajališta, tj. više od 10000 tona godišnje [1].

Tijekom izrade diplomskog rada doneseno je nekoliko zaključaka vezano za predloženo konstrukcijsko rješenje. Prethodno provedena preliminarna analiza čvrstoće [29] pokazala je nedovoljnu čvrstoću strukture u zamišljenoj konfiguraciji što implicira korištenje čelika povišene čvrstoće. Izgledno je i povećanje debljine stijenke cijevi te korištenje alternativnih rješenja kavezne konstrukcije poput dodavanja dijagonalnih nosača kojima bi se izbjeglo gibanje okvira kao mehanizam. Razmatranje postupaka zavarivanja cijevi je pokazalo da se najpovoljniji rezultati zavarivanja čeličnih cijevi povišene čvrstoće dobiju modificiranom MAG tehnikom. Nadalje, slično brodograđevnom proizvodnom procesu, predmontaža „LL“ i „TT“ spojeva se pokazala kao dio postupka gradnje kaveza za marikulturu koji predstavlja dislociranu montažu i nužno ubrzava proces gradnje. Najpovoljniji način gradnje takvog kaveza je montiranje modula na ravnoj površini, zatim njihovo transportiranje na plutajući dok na kojemu se međusobno spajaju te s kojeg se konačna kavezna konstrukcija predaje moru.

Obzirom na mogućnosti daljnjeg istraživanja, navedeno je nekoliko problematičnih aspekata predloženog objekta za pučinsku marikulturu. Prije svega, treba analizirati redoslijed spajanja cijevi i utjecaj topline prilikom zavarivanja predmontiranih spojeva kao uzrok mogućih deformacija. Budući da je nužno osigurati neprestano strujanje mora kroz kavez neovisno o vremenskim uvjetima, od presudne je važnosti minimizirati utjecaj obraštanja. Djelovanje premaza protiv obraštanja na uzgoj riba predstavlja veliku nepoznanicu, stoga je imperativno ispitati postoji li ikakav negativni utjecaj na samo uzgajanje. Uz to je potrebno razmotriti i međusobni utjecaj postojeće antikorozivne zaštite i premaza protiv obraštanja.

9. LITERATURA

- [1] <http://www.fao.org>; (Food and Agriculture Organization pri UN – u)
- [2] Ryan James; Farming in the deep blue, 2004.
- [3] Hadžić Neven; Suvremene konstrukcije i oprema za marikulturu; Bilten razreda za tehničke znanosti, HAZU, 2014.
- [4] FAO; Expanding mariculture farther offshore, 2010.
- [5] Lukin Ana; Status marikulture u RH, 2014.
- [6] Čaušević Mustafa; Obrada metala valjanjem, 1982.
- [7] Brensing Karl-Heinz, Sommer Baldur; Steel Tube and Pipe Manufacturing Processes
- [8] www.thefabricator.com
- [9] www.worldsteel.org
- [10] Norwegian Standard, Marine fish farms, NS 9415.E; 2009.
- [11] <http://www.dofascotube.com>
- [12] <http://www.tmk-group.com>
- [13] <http://www.tps-technitube.com>
- [14] <http://www.api.org>
- [15] <http://standards.cen.eu>
- [16] <http://www.iso.org>
- [17] Sladoljev Želimir; Tehnologija brodogradnje – skripta, FSB
- [18] Kralj Slobodan, Radošević Branko, Kožuh Zoran, Garašić Ivica; Strojevi i oprema za zavarivanje, Podloge, 2013.
- [19] Horvat Marko, Bilić Marijan, Kondić Veljko; Primjena REL zavarivanja u izradi čeličnih konstrukcija
- [20] Branilović Dino; Usporedba MAG zaviranja punom žicom i žicom punjenom praškom
- [21] Garašić Ivica, Kralj Slobodan, Radošević Branko; Mogućnosti automatizacije pri zavarivanju cjevovoda
- [22] <http://www.tridentsteel.co.in>
- [23] <http://shipmanagementinternational.com>
- [24] <http://www.dreamstime.com>

-
- [25] Zaplatić Tomislav; Tehnologija – repetitorij, FSB, 2009.
- [26] <http://www.optimarin.com>
- [27] <https://www.youtube.com/watch?v=z9skXWYGjxU>
- [28] <http://www.phasemet.com>
- [29] Flego Filip; Projekt B, Funkcijska i konstrukcijska analiza marikulturnih objekata; mentorstvo prof. Kalman Žiha, 2014.
- [30] <http://www.heavyliftspecialist.com>
- [31] Majumdar Jyotsna; Underwater welding – present status and future scope, 2006.